



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **ANALISA KEGAGALAN UPPER HILL *WEARING RING TYRE* PADA *ROTARY KILN* UNIT 2 PADA PT.SEMEN INDONESIA**

Panji Akbar Prasetya  
NRP 2712 100 114

Dosen Pembimbing  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

# **FAILURE ANALYSIS OF UPPER HILL WEARING RING TYRE IN ROTARY KILN UNIT 2 AT PT.SEMEN INDONESIA**

**PANJI AKBAR PRASETYA**  
**NRP 2712 100 114**

**Advisor**

**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

**Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

**Materials and Metallurgical Engineering Department**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2016**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISA KEGAGALAN UPPER HILL WEARING RING  
TYRE PADA ROTARY KILN UNIT 2 PT SEMEN  
INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Korosi Dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PANJI AKBAR PRASETYA**  
NRP. 2712100114

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. .... (Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, ST, M.Sc. .... (Pembimbing 2)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISA KEGAGALAN *UPPER HILL WEARING RING*  
TYRE PADA ROTARY KILN UNIT 2 PT.SEMEN  
INDONESIA**

**Nama Mahasiswa** : Panji Akbar Prasetya  
**NRP** : 2712100114  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Ir Rochman Rohiem, M.Sc.  
: Wikan Jatimurti S.T. M.Sc

**Abstrak**

*Wearing ring merupakan komponen yang memiliki kontak langsung dengan shell kiln dan berfungsi untuk melindungi tyre ring dari kerusakan yang terjadi sehingga mengganggu aktivitas produksi. Kerusakan berupa fatigue dikarenakan terkena beban cyclic, tegangan axial dan shear stress yang terus menerus menyebabkan wearing ring mengalami kegagalan. Wearing ring menggunakan material ASTM A36. Pada pengujian OES didapatkan hasil komposisi kimia yang sesuai dengan standar yaitu kadar karbon sebesar 0,21% dan unsur Fe sebesar 97,7%. Pada pengujian kekerasan dilakukan pada 2 daerah menggunakan metode brinell didapatkan hasil rata-rata yaitu jauh patahan sebesar 133 BHN dan dekat patahan 139,8 BHN dan sesuai standar yaitu 110-149 BHN. Pada pengujian metallografi didapatkan hasil berupa fasa yang terbentuk adalah ferit-perlit. Hasil perhitungan pada penelitian wearing ring tyre ini didapatkan tegangan geser yang bekerja sebesar 191,46 MPa dari yang diizinkan yaitu sebesar 400 MPa dengan torsi sebesar 47,4 Nm. Dan ini disebabkan oleh kesalahan pemasangan stopper yang berlebih sehingga wearing ring putus yang dibuktikan juga pada simulasi menggunakan solidwork.*

**Kata kunci:** *rotary kiln, wearing ring, ASTM A36, tyre*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **FAILURE ANALYSIS OF UPPER HILL WEARING RING TYRE ON ROTARY KILN UNIT 2 AT PT SEMEN INDONESIA**

**Nama Mahasiswa** : Panji Akbar Prasetya  
**NRP** : 2712100114  
**Major** : Material & Metallurgical Eng.  
**Advisor** : Ir Rochman Rohiem, M.Sc.  
**Co-Advisor** : Wikan Jatimurti S.T. M.Sc

## **Abstract**

*Wearing Ring is a component that has direct contact with the kiln shell and serves to protect Tyre Ring of the damage that occurred, disrupting production. Damage in the form of fatigue due struck a cyclic load, axial tension and shear stress continue to cause wear ring failure. Wearing the ring using the material ASTM A36. On the OES testing showed that the chemical composition according to the standards that the carbon content of 0.21% .and at 97.7% Fe element. In hardness testing performed on 2 areas that is far from the fracture and fracture the close of each 6 points Brinell indentation method showed an average that is far fracture by 133 BHN and near fault 139.8 BHN and standards compliant is 110-149 BHN. In metallografi test results obtained in the form of a phase that is formed is a ferrite-pearlite. The calculation in the study was obtained tire wear ring shear working of 191.46 MPa from which denied entry amounting to 400 MPa with a torque of 47.4 Nm. And this is caused by faulty installation of excess stopper so that the wear ring broke evidenced also in the simulation using solidwork..*

**Keyword:** *rotary kiln, wearing ring, ASTM A36, tyre*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
TITLE .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Rotary Kiln .....	5
2.1.1 Proses Rotary Kiln.....	6
2.1.2 Kiln Axis.....	10
2.1.3 Ovality.....	12
2.2 Tyre Ring .....	14
2.2.1 Migration .....	16
2.3 Metals .....	17
2.4 Ferrous Alloy.....	17
2.4.1 Steel.....	18
2.4.1.1 Baja karbon rendah .....	19
2.4.1.2 Baja karbon menengah.....	21
2.4.1.3 Baja karbon tinggi.....	22
2.5 ASTM A36 .....	23
2.6 Analisa Kegagalan .....	25
2.7 Mekanisme Pembentukan Patah Fatigue .....	29

2.7.1 Tahap Retak Awal ( <i>Crack Initiation</i> ).....	30
2.7.2 Tahap Perambatan Retak ( <i>Crack Propagation</i> ).....	30
2.8 Karakteristik Patahan.....	32
2.9 Fretting fracture .....	34
2.10 Hertzian stress.....	35
2.11 Tinjauan Penelitian .....	35
2.12 Pengujian Kekerasan .....	36
2.13 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	37
2.14 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	39
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	39
3.2 Metode Penelitian .....	40
3.3 Material yang digunakan .....	40
3.4 Peralatan .....	44
3.5 Tahapan Penelitian.....	44
3.5.1 Pengambilan dan Persiapan Spesimen .....	44
3.5.2 Preparasi Spesimen.....	45
3.5.3 Pengujian Makroskopik.....	45
3.5.4 Pengujian Komposisi.....	46
3.5.5 Pengujian Mikroskopik .....	46
3.5.6 Pengujian Metalografi .....	47
3.5.7 Pengujian Kekerasan brinell.....	48
3.6 Rancangan Penelitian .....	49
3.7 Jadwal penelitian .....	49
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	51
4.1. Analisa Data .....	51
4.1.1 Record wearing ring tyre .....	51
4.1.2 Analisa titik kritis .....	52
4.1.3 Hasil pengujian OES .....	54
4.1.4 Hasil Pengujian Metalografi .....	55
4.1.5 Hasil Pengujian Kekerasan.....	60
4.1.6 Hasil Fraktografi.....	63
4.2 Pembahasan .....	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran .....	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
UCAPAN TERIMA KASIH	
BIOGRAFI PENULIS	

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon rendah.....	20
Tabel 2.2 Mechanical properties dari berbagai baja karbon rendah.....	20
Tabel 2.3 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon menengah. ....	22
Tabel 2.4 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon tinggi. ....	23
Tabel 2.5 Komposisi kimia ASTM A36.....	24
Tabel 2.6 <i>Properties</i> material ASTM A36 .....	24
Tabel 2.7 Permasalahan dalam kegagalan komponen .....	26
Tabel 2.8 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin .....	27
Tabel 2.9 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin .....	27
Tabel 3.1 Spesifikasi dimensi Spesimen <i>wearing ring</i> . ....	41
Tabel 3.2 Temperatur dan diameter <i>Tyre ring rotary kiln</i> .....	41
Tabel 4.1 history kegagalan pada <i>wearing ring Tyre</i> .....	52
Tabel 4.2 Hasil komparasi material <i>wearing ring</i> ASTM A36.. ..	55
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan (Brinell) .....	62

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sudut kemiringan <i>rotary kiln</i> (Alma,2008) .....	5
Gambar 2.2 Diagram fasa proses pada rotary kiln (Winter,2012).....	6
Gambar 2.3 Prinsip dasar <i>wet process kiln</i> (Pisaroni,2012) ..	8
Gambar 2.4 Prinsip dasar <i>dry process kiln</i> (Pisaroni,2012).....	9
Gambar 2.5 Metode FLSmidth dalam menentukan kiln axis (Moeller,2007).....	11
Gambar 2.6 <i>Kiln axis rotary kiln</i> (Moeller,2007).....	12
Gambar 2.7 <i>Kiln shell ovality</i> (Moeller,2007).....	12
Gambar 2.8 Kerusakan yang diakibatkan oleh <i>ovality shell kiln</i> (Moeller,2007).....	14
Gambar 2.9 Desain dan susunan dari <i>shell kiln</i> , <i>tyre ring</i> dan <i>wear ring</i> (Deshpande,2014).....	16
Gambar 2.10 Klasifikasi dan skema dari paduan logam (Callister ,2007).....	18
Gambar 2.11 Mekanisme patah lelah dan faktornya (ASM Handbook Vol.19 <i>Fatigue and Fracture</i> , 2002). .....	29
Gambar 2.12 Model Wood untuk pengintian retak (Nishida, Shin-ichi,1992).....	31
Gambar 2.13 Mekanisme penumpukan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban-tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil (Callister,2007)).....	32
Gambar 2.14 Foto SEM yang menunjukkan <i>Beachmarks</i> dan striasi secara mikro (Poursaedi, 2005) .....	33

Gambar 2.15 Retakan dengan pola rambatan (a) <i>Transgranular</i> (b) <i>Intergranular</i> (Colangelo, 1989) .....	34
Gambar 2.16 Skema alat uji XRD.....	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Data desain <i>Wearing ring Tyre ring Rotary Kiln</i> .....	42
Gambar 3.3 <i>Wearing ring</i> dalam keadaan patah saat menempel pada <i>Rotary kiln</i> .....	42
Gambar 3.4 <i>Wearing ring</i> dalam kondisi kerja dan menempel pada <i>shell kiln</i> (A) pada <i>uphill wearing ring</i> (B) pada <i>down hill wearing ring</i> .....	43
Gambar 3.5 <i>Wearing ring</i> yang mengalami kegagalan. ....	43
Gambar 3.6 kamera Canon DSLR dan miskroskop stereo.. ....	45
Gambar 3.7 Mesin uji komposisi .....	46
Gambar 3.8 Mesin SEM dan skema kerja mesin sem.....	47
Gambar 3.9 Mikroskop optik <i>Olympus BX51M-RF</i> .....	48
Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan brinell .....	48
Gambar 4.1 Posisi <i>wearing ring</i> dan <i>tyre ring</i> pada <i>rotary kiln</i> Tuban .....	52
Gambar 4.2. Gambar modeling <i>wearing ring</i> dan <i>tyre ring kiln</i> Tuban .....	53
Gambar 4.3 Pemusatan tegangan pada <i>uphill wearing ring</i> ....	56
Gambar 4.4 Struktur mikro ASTM A36 pembesaran 100x pada material yang dekat dari patahan. ....	56
Gambar 4.5 Struktur mikro ASTM A36 pembesaran 200x. ...	57
Gambar 4.6 Struktur mikro ASTM A36 pembesaran 500x pada material (A) yang dekat dari patahan dan (B) yang jauh dari patahan. ....	58

Gambar 4.7 Struktur mikro ASTM A36 perbesaran 1000x (A) dan (C) pada material yang dekat dan patahan dan (B) dan (D) pada material yang jauh dari patahan. ....	59
Gambar 4.8 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan Brinell .....	60
Gambar 4.9 Spesimen uji kekerasan (A) dekat patahan dan (B) jauh patahan.....	61
Gambar 4.10 Grafik distribusi kekerasan pada komponen <i>wearing ring Tyre</i> .....	63
Gambar 4.11 Pembagian daerah: (A) retak awal, (B) rambatan retak dan (C) retak akhir. ....	64
Gambar 4.12 Daerah <i>initial crack</i> diambil dengan <i>stereomicroscope</i> perbesaran 10x.....	65
Gambar 4.13 Hasil SEM perbesaran 100x pada (A) daerah initial crack dan (B) batas initial crack. ....	66
Gambar 4.14 Hasil SEM pada daerah <i>initial crack</i> pada pembesarann (A) 500x dan (B) 1000x.....	66
Gambar 4.15 Hasil pengamatan morfologi pada bagian crack propagation dengan (A) Mikroskop stereo pembesaran 10x dan (B) SEM pembesaran 100x .....	67
Gambar 4.16 Hasil SEM pada daerah <i>initial crack</i> pada pembesarann (A) 500x dan (B) 1000x.....	67
Gambar 4.17 Hasil pengamatan morfologi pada bagian <i>Final crack</i> dengan (A) Mikroskop stereo pembesaran 10x dan (B) SEM pembesaran 100x .....	68
Gambar 4.17 Hasil SEM pada daerah <i>Final crack</i> pada pembesarann (A) 500x dan (B) 1000x.....	69

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

PT.Semen Indonesia adalah produsen semen terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi sebesar 29 juta ton per tahun. PT Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT Semen Gresik , PT Semen Padang , PT Semen Tonasa dan Thang Long Cement.

Semen adalah serbuk halus yang dapat mengeras setelah beberapa jam bila dicampur dengan air, dan kemudian mengeras dalam beberapa hari menjadi bahan yang kuat padat. Oleh karena itu, Semen berfungsi sebagai pengikat yang mengeras saat air ditambahkan ke dalamnya. (Lea,1970)

Proses produksi semen dimulai dengan pengambilan bahan baku, proses pembuatan klinker, proses penggilingan semen dan *packing* semen. Pada pengambilan bahan baku dimulai dengan menghancurkan, penimbunan, penggilingan bahan baku dan memasukkan ke *silo*. Proses pembuatan klinker yaitu zona kalsinasi pada temperatur 900 – 1000 °C, zona transisi pada temperatur 1000 – 1250 °C , zona pembakaran (*Burning*) pada temperatur 1250 – 1450 °C, zona pendinginan (*Cooling*) pada temperature 1450 – 1300 °C. Proses penggilingan yaitu pencampuran dengan zat aditif, *grinding* dan *powdering*. Dan proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpan kedalam gudang.(Ibrahim,2004)

Rotary kiln pada PT.Semen Indonesia merupakan rotary kiln buatan FLSmidth dengan diameter sebesar 5,6 meter dan memiliki panjang 84 meter. Rotary kiln memiliki 3 supporting roll dan memiliki 1 thrust roll hydraulic pada supporting roll ke 3. Memiliki kiln speed sebesar 2,5 rpm dan pertama kali digunakan pada tahun 1996.

Permasalahan yang sering terjadi adalah suatu kegagalan pada *wearing ring* pada bagian *tyre ring*. *Tyre ring* bergesekan langsung dengan *supporting roll* dan merupakan komponen pada *rotary kiln* yang berfungsi untuk menerima distribusi beban dan



gaya yang diberikan dari pergerakan *rotary kiln*. *Tyre ring* yang menempel pada *rotary kiln* berputar secara *counter clockwise* setelah bergesekan dengan *supporting roll*.

*Wearing Ring* merupakan komponen yang memiliki kontak langsung dengan shell kiln dan berfungsi untuk melindungi *Tyre Ring* dari kerusakan yang terjadi sehingga mengganggu proses produksi. *Rotary Kiln* bergerak dari atas ke bawah dan memiliki kemiringan sekitar  $4^{\circ}$  dan memiliki *ovality* yang berbeda di masing-masing *tyre ring*. Sehingga untuk menangani masalah tersebut dan untuk melindungi kerusakan pada *tyre ring* dibutuhkan *wearing ring* yang terletak pada *Up hill* dan *Down hill Tyre ring* tersebut.

Oleh sebab itu, dilakukanlah penelitian tugas akhir untuk menganalisa kegagalan dari *Wearing Ring Rotary Kiln* Unit 2 Semen Indonesia yang megacu pada data-data perusahaan yang telah didapatkan.

### 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam analisa kegagalan *Wearing Ring Rotary Kiln* ini adalah :

1. Faktor-faktor apa yang menyebabkan kegagalan pada *Wearing Ring Rotary Kiln*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada *Wearing Ring Rotary Kiln*?
3. Usaha apa saja yang dilakukan sehingga kegagalan tidak terulang kembali?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Data Operasi seperti tekanan, temperature, kecepatan kiln dan *inclination* pada *Wearing Ring Rotary Kiln* sudah memenuhi standar operasional.



2. Data yang didapatkan adalah dalam keadaan normal dan lingkungan diabaikan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan analisa kegagalan pada *Wearing Ring Rotary Kiln* unit 2 Semen Indonesia ini adalah,

1. Menganalisa penyebab terjadinya kegagalan pada *Wearing Ring Rotary Kiln*.
2. Menganalisa mekanisme kegagalan pada *Wearing Ring Rotary Kiln*.
3. Menganalisa usaha usaha yang dilakukan sehingga keggalan tidak terulang kembali.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penanganan bila terjadi kegagalan dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

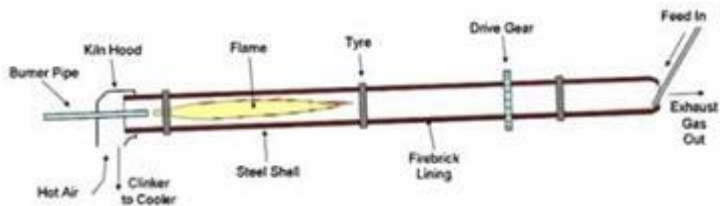


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Rotary Kiln

Rotary kiln adalah sebuah tungku silinder yang panjang dan pada saat beroperasi sedikit miring maksimal  $4^\circ$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. *Rotary kiln* digunakan dalam berbagai industri pengolahan bahan. Material yang akan diproses dimasukkan ke ujung atas silinder dan memiliki ruang kosong pada dalam kiln sehingga proses penggilingan berjalan dengan baik. *Rotary kiln* berputar pada porosnya, posisi material pada *rotary kiln horizontal* dan secara bertahap bergerak ke bawah menuju ujung bawah, dan mengalami sejumlah pengadukan dan pencampuran.

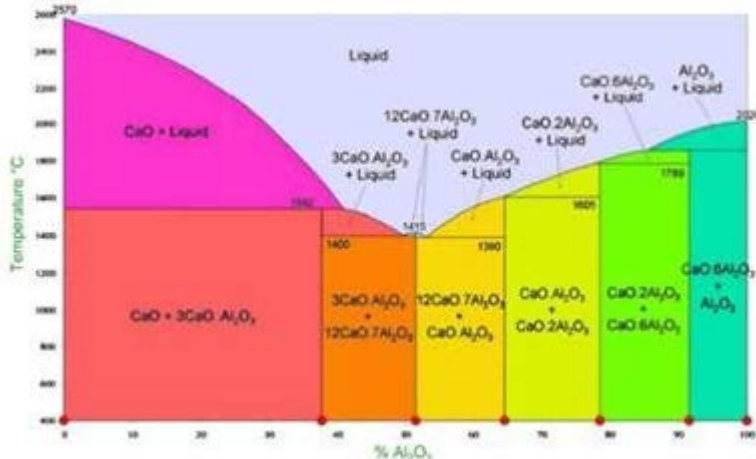


**Gambar 2.1** sudut kemiringan *rotary kiln*

Material setelah diproses pada *rotary kiln* terletak di ujung bawah untuk diproses lebih lanjut. Pemanasan *kiln* berfungsi untuk mendorong terjadinya reaksi tertentu yang baik untuk proses pengadukan secara homogen dan dengan alasan termodinamika, proses pada *rotary kiln* memerlukan temperatur tinggi. Energi yang diperlukan untuk memanaskan material dengan reaksi dihasilkan oleh pembakaran hidrokarbon. Bahan bakar terus menerus diumpankan ke *burner* ditempatkan di *freeboard* tersebut. Energi ini kemudian ditransfer melalui pertukaran panas antara fase gas dan tempat pengadukan material. Permukaan *lateral kiln* ditutupi oleh lapisan yang tertutup oleh material tahan api. Gas yang panas mengalir dengan arah



yang berlawanan dengan yang dari posisi material melalui *kiln*. Transfer panas antara *freeboard* dan material adalah fenomena yang rumit seperti itu terjadi sepanjang berbagai jalur ditentukan oleh hukum radiasi. (Pisaroni,2012). Gambar 2.2 menjelaskan fasa yang ada pada proses dalam *rotary kiln*.



**Gambar 2.2** Diagram fasa proses pada rotary kiln

### 2.1.1 Proses Rotary Kiln

Joseph Aspdin dari Leeds, Inggris adalah manusia pertama yang membuat semen *portland* di awal abad ke-19 dengan membakar bubuk batu kapur dan tanah liat di sebuah tungku dapur. Dengan metode simpel ini, ia meletakkan dasar bagi industri semen dunia saat ini. Pada dasarnya pegunungan kapur, tanah liat, batu pasir, pasir besi dan bahan lainnya menjadi bubuk begitu halus itu akan melewati tahap tahap tertentu hingga menghasilkan produk perangkat yang baik terhadap air. Semen diproduksi melalui kombinasi kimia yaitu berupa kalsium, silikon, aluminium, besi dan bahan-bahan lainnya. bahan yang umum digunakan untuk memproduksi semen meliputi batu kapur, kerang, tanah liat, batu pasir, pasir silika, dan bijih besi. Bahan-bahan ini, ketika dipanaskan pada



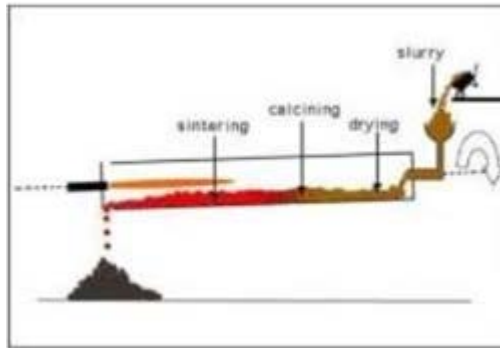
temperatur tinggi membentuk zat seperti batu karang yang digiling menjadi bubuk halus yang biasanya kita anggap sebagai semen. (Winter, 2012)

Semen Portland dibuat dalam *rotary kiln*. Pada dasarnya, *Rotary kiln* adalah tungku silinder panjang yang berputar pada porosnya setiap menit. Sumbu pada *rotary kiln* cenderung sedikit miring, dimana pada tempat proses terakhir pada *rotary kiln* memiliki posisi yang lebih rendah. Rotasi menyebabkan *raw material* secara bertahap terdistribusi panas yang merata dari awal hingga akhir proses *rotary kiln*, *Rotary kiln* diperkenalkan pada tahun 1890 dan tersebar luas di pada awal abad ke-20 dan dengan beberapa pembaharuan *rotary kiln* memberikan produksi yang berkesinambungan dan menghasilkan produk yang lebih beragam dalam jumlah yang lebih besar. Laboratorium pabrik semen memeriksa setiap langkah dalam pembuatan semen portland dengan spengujian kimia dan tes fisik. Laboratorium juga menganalisis dan menguji produk jadi untuk memastikan bahwa itu memenuhi semua spesifikasi industri. (Pisaroni, 2012)

#### A. *Wet Process*

Cement kiln biasa disebut '*wet process*' kiln. Dalam bentuk dasar mereka mereka relatif sederhana dibandingkan dengan perkembangan modern. *Raw material* dipasok pada temperatur kamar dalam bentuk bubuk. Sebuah *rotary kiln* dengan *wet process* mungkin memiliki panjang sampai 200m dan diameter 6m. *Rotary Kiln* harus panjang karena banyak air yang harus menguap dan proses perpindahan panas sangat tidak efisien.

*Raw material* mungkin mengandung sekitar 40% air, ini membutuhkan banyak energi untuk menguap dan berbagai perkembangan dari *wet process* yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dari *raw material*. *Wet process* telah bertahan selama lebih dari satu abad karena banyak bahan baku yang cocok untuk pencampuran sebagai lumpur (Pisaroni, 2012). Gambar 2.3 menunjukkan prinsip dasar dari *wet process* pada *rotary kiln*.



**Gambar 2.3** Prinsip dasar wet process kiln

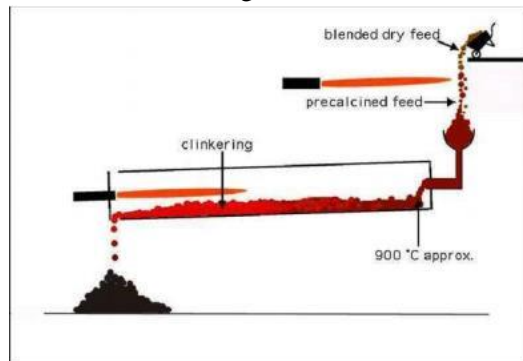
### B. Dry Process

Cara yang paling umum untuk memproduksi semen *portland* adalah melalui metode kering pada gambar 2.4. Langkah pertama adalah untuk tambang bahan baku utama, terutama batu kapur, tanah liat, dan bahan lainnya. Setelah penggalian batu kapur, ini melibatkan beberapa tahap yaitu proses pertama menghancurkan batu menjadi ukuran maksimum sekitar 6 inci. *Raw material* kemudian dikirimkan pada mesin penghancur atau proses *crusher* selanjutnya untuk pengurangan dimensi sekitar 3 inci atau lebih kecil. Batu kapur hancur dikombinasikan dengan bahan lain seperti bijih besi atau *fly ash* dan tanah, dicampur, dan diumpankan ke *kiln Cement kiln* memanaskan semua bahan untuk sekitar 2.700 derajat Fahrenheit dalam baja silinder *rotar kiln* yang dilapisi dengan batu bata tahan api khusus. *Kiln* memiliki diameter sebesar 12 kaki dan memiliki panjang sekitar 120 meter. Kiln ini sangat besar dan dipasang dengan sumbu cenderung sedikit dari horisontal. *Kiln* terbuat dari material baja dilapisi dengan bata tahan api. Ada berbagai jenis batu tahan api dan mereka harus menahan tidak hanya temperatur tinggi di *kiln* tetapi reaksi dengan *raw material* dan gas di kiln, abrasi dan tekanan mekanis yang disebabkan oleh deformasi dari shell kiln yang berputar.



Batu tahan api di zona pembakaran berada di lingkungan yang lebih tahan dan baik dibandingkan dengan batu tahan api pada tahap akhir yaitu daerah *cooling* dari tanur, bagian tersebut sangat berbeda dari kiln dilapisi dengan berbagai jenis batu tahan api. (Pisaroni, 2012)

Bahan baku yang ditumbuk halus seperti bubur dimasukkan ke ujung yang lebih tinggi. Di ujung bawah adalah tempat *burner* api yang dihasilkan oleh pembakaran justru dikendalikan dari batubara, minyak, bahan bakar alternatif, atau gas. Sebagai bahan bergerak melalui kiln, unsur-unsur tertentu didorong masuk dalam bentuk gas.



**Gambar 2.4** Prinsip dasar dry process kiln

Dalam diagram di atas dari *kiln precalciner*, raw material melewati bawah daerah preheater sementara gas panas keluar, memanaskan raw material. Pada 'A,' raw material sebagian besar *decarbonates*; di 'B', temperature adalah 1000 C - 1200 C dan senyawa mulai terbentuk dan di 'C,' zona pembakaran, nodul klinker dan bentuk mineral klinker akhir. Sebuah bagian *preheater* cenderung memiliki 4-6 tahap, bukan tiga ditampilkan di sini. Banyak desain yang lebih kompleks namun diagram ini menggambarkan dasar pada *rotary kiln*. Unsur-unsur yang tersisa bersatu untuk membentuk zat baru yang disebut klinker. Klinker keluar dari kiln sebagai bola abu-abu, sebesar ukuran kelereng.



Klinker keluar berwarna merah-panas dari ujung bawah kiln dan umumnya dibawa ke temperature pada daerah selanjutnya. Udara panas dari pendingin dikembalikan ke kiln, sebuah proses yang menghemat bahan bakar dan meningkatkan efisiensi pembakaran.

Setelah klinker didinginkan, pabrik semen menggiling dan mencampurnya dengan sejumlah kecil gipsum dan batu kapur. Semen sangat halus sehingga 1 pon semen mengandung 150 miliar butir.

### 2.1.2 Kiln Axis

*Kiln axis* prinsipnya sama dengan yang ada pada teori elastisitas yang disebut *neutral axis* dari *bending* pada *shell kiln*. *Kiln axis* berbeda dengan sumbu rotasi kiln terutama pada alat pendukungnya. Geometri poros kiln bertanggung jawab untuk distribusi beban keseluruhan pada *shell kiln*, lapisan internal dan eksternal (jika ada), dan muatan pada support internal. Pada tahap desain, geometri ditentukan sedemikian rupa sehingga menghasilkan berupa pemanfaatan kapasitas beban dari *supporting roll*.

*Kiln axis* biasanya tetapi tidak harus selalu ada proyeksi geometri kiln poros di arah *vertical* disebut "*vertical kiln axis*" lurus dari atas kebawah, sedangkan untuk memastikan beban yang sama terdistribusi di kiri dan kanan pada support roll sesuai proyeksi pada bidang *horizontal* disebut "*horizontal kiln axis*" selalu lurus dari arah kiri ke kanan secara horizontal. Sehingga perubahan yang mungkin terjadi dalam geometri dari sumbu kiln sebanding dengan umur pakai, kiln memerlukan perubahan dalam distribusi beban pada *support roll* dan dengan demikian distribusi *bending* memanjang menekankan pada *shell kiln*. Perubahan tersebut terjadi pada beban, besarnya yang terkait erat dengan kekakuan kiln (yaitu hubungan antara diameter *kiln*, ketebalan plat dari *shell kiln*, dan jarak antara pendukung), dan melibatkan risiko kerusakan atau berkurangnya umur pakai produksi dari komponen *kiln*. Dan *kiln* memerlukan pemeriksaan pada sumbu *kiln* karena itu diharuskan secara rutin merupakan bagian kerja



dari inspeksi pemeliharaan yang dilakukan di perusahaan. Inspeksi pemeliharaan mengevaluasi konsekuensi dari geometri sumbu *kiln* yang dihasilkan dari kondisi kiln, pengetahuan rinci tentang kekakuan kiln dan kekuatan komponen *support roll* dalam kondisi terkini saat dilakukan pemeriksaan. Oleh karena itu kondisi mekanis kiln harus diteliti. Selain itu, pengukuran geometri poros kiln sendiri harus secara alami diambil di bawah kondisi yang paling realistis, yaitu pada saat kiln beroperasi. (Moeller,2007)

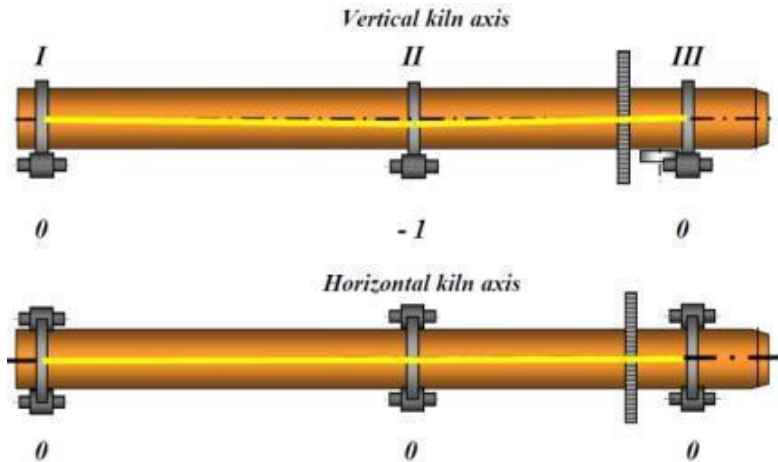


**Gambar 2.5** Metode FLSmidth dalam menentukan kiln axis

Geometri poros *kiln* diukur selama pemeriksaan menggunakan laser FLS Metode balok, diset-up secara umum dari yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Metode membutuhkan dua *theodolites* elektronik yang presisi. Salah satu *theodolites* dilengkapi dengan laser instrumen, dan keduanya terhubung ke laptop di mana pembacaan, perhitungan, dan penyimpanan dibuat. Posisi persimpangan antara sumbu kiln dan penampang *shell kiln* tersebut dihitung pada setiap *support*. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan di permukaan bergulir diluar *Tyre ring*, yang kedua menghitung *ovality* dan temperatur. Dalam hubungan ini

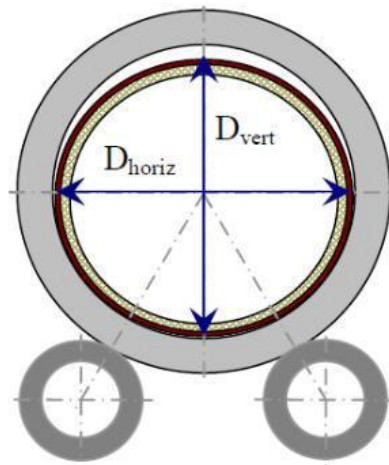


harus diingat bahwa posisi *shell kiln* menyimpang dari posisi diluar *tyre ring*. Gambar 2.6 menunjukkan *kiln axis* pada *rotary kiln*.



**Gambar 2.6** kiln axis rotary kiln

### 2.1.3 Ovality



**Gambar 2.7** Kiln shell ovality





Salah satu aspek yang paling penting yaitu deformasi dari penampang *kiln shell* atau *kiln shell ovality* ( $\omega$ ) begitu yang didefinisikan sebagai perbedaan antara yang diameter terbesar dan diameter terkecil dari *shell kiln*, yaitu i.e.  $\omega = (D_{horiz} - D_{vert})$ . Praktek umum yang menggambarkan ovality dengan nilainya relatif ( $\omega_{rel}$ ) didefinisikan sebagai tersebut di atas Perbedaan diameter dibagi dengan nominal diameter *kiln shell*:

$$\omega_{rel} = \frac{D_{horiz} - D_{vert}}{D_{nom}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$\omega_{rel}$  : Kiln ovality relatif

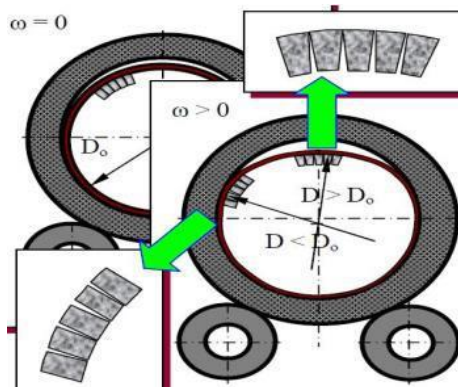
$D_{horiz}$  : Diameter *horizontal* (m)

$D_{vert}$  : Diameter *vertical* (m)

Ada dua jenis *ovality* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 yaitu yang disebabkan oleh deformasi pada *shell kiln* seperti setelah *hot spot*. Akibatnya, jenis *ovality* ini adalah tetap di posisi di *shell kiln*, yaitu berputar dengan tempat pembakaran. Itu membuat para penemu terdahulu tidak memperkenalkan beban dinamis baik pada *shell kiln* atau lapisan selama *kiln* berrotasi. Jenis lain dari *ovality* disebabkan oleh mendaratkan puncak *kiln shell*, yang pada saat tergantung dan memiliki Perbedaan antara diameter luar kiln shell dan disamakan dengan diameter pada dalam *tyre*. Kebalikan dari jenis *ovality* yang terjadi saat dahulu, *ovality* adalah tetap dalam ruang, yaitu berputar dalam arah yang berlawanan untuk kiln rotasi. Laporan ini hanya berkaitan dengan yang terakhir jenis *ovality* dikarenakan yang terakhir memperkenalkan beban dinamis ke shell kiln dan refraktori melapisi selama rotasi *kiln*. Jika *ovality* ini terjadi secara berlebihan, itu menjadi salah satu penyebab utama dari



keumur pakai *kiln* yang lebih pendek dan pembentukan retak di *shell kiln* dan lasan di daerah *tyre ring*.(Moeller,2007). Gambar 2.8 menunjukkan kerusakan yang diakibatkan oleh ovality *shell kiln*.



**Gambar 2.8** Kerusakan yang diakibatkan oleh ovality *shell kiln*

## 2.2 Tyre ring

Tyre ring, atau disebut dengan riding rings, biasanya terdiri dari baja cor tunggal, mesin untuk permukaan silinder yang halus dan memiliki ruang yang longgar ke *shell kiln* melalui berbagai pengaturan "formasi kunci". Ini membutuhkan beberapa ketelitian desain, karena tyre harus sesuai dengan *shell kiln*, tetapi juga memungkinkan gerakan termal. Keseluruhan komponen dari *tyre ring* di pasang pada *rotary kiln* dan bergesekan dengan *supporting roll* dan memiliki permukaan silinder yang halus. *roller* harus mendukung kiln, dan memungkinkan rotasi yang hampir semua terdistribusi dengan gesekan.(Moeller,2007). Gambar 2.9 menunjukkan desain dan susunan dari *shell kiln* , *tyre ring* dan *wear ring*. Beban yang terdapat pada *roller* dan *tyre ring*.



A. beban *Refractory*:

Kiln memiliki dimensi yang sangat panjang dan proses kimia yang berbeda terjadi pada lokasi yang berbeda. temperatur di dalam *kiln* bervariasi dari titik ke titik, dan temperatur lebih tinggi di zona pembakaran dan berkurang saat *raw material* menuju inlet *kiln* . Kiln terutama dibagi dalam tiga zona yaitu, zona *inlet*, zona transisi dan zona pembakaran. Tiga jenis material tahan api memiliki kepadatan yang berbeda digunakan di zona ini. Beban *refractory* dihitung mempertimbangkan kualitas tahan api dan dimensi zona.

B. beban komponen:

Ketebalan gigi, *inlet seal* dan *outlet seal* yang dipasang pada *shell kiln*. Berat komponen ini dianggap sebagai titik beban di posisi itu. Titik beban yaitu Ketebalan gigi, *inlet seal* dan *outlet seal* yang dipasang pada *shell kiln*. Berat komponen ini dianggap sebagai beban titik di posisi itu.

C. beban *coating* :

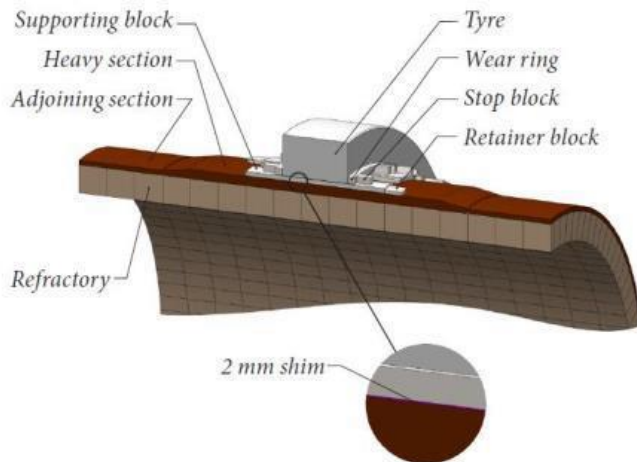
Karena materi proses pelapisan kimia terbentuk dalam kiln. Berat *coating* diambil oleh *shell kiln*.

D. beban *raw material inlet*:

Dalam proses kiln diisi 5-10% di inlet dan zona transisi dan 8- 15% di zona pembakaran. Beban *feed inlet* oleh *shell kiln*.

E. beban *shell kiln*:

Beban karena *kiln shell* itu sendiri. Mengingat beban atas simetris didistribusikan sekitar sumbu vertical kiln. (Deshpande,2014)



**Gambar 2.9** Desain dan susunan dari shell kiln , tyre ring dan wear ring.

### 2.2.1 Migration

Migrasi *tyre*, dimana *tyre ring* bergesekan dan kontak pada *shell kiln (tyre support)* dan *tyre* dalam kaitannya dengan satu sama lain selama satu revolusi kiln disebut *tyre migration*. Beberapa kejadian menunjukkan bahwa *ovality* berkurang secara bertahap sebagai jarak (*gap*) dari *tyre* meningkat. Pada jarak tertentu yaitu shell menjauh dari *tyre ring* maka *ovality* umumnya hampir menghilang. Derajat *ovality* yang terbesar ditemukan berada di bawah *tyre*.

FLS telah memilih untuk menyelidiki *ovality* dengan pengukuran *tyre migration* dalam hal yang mendasar untuk metode yang lebih tradisional yaitu *Shell Test*, sebagai pengukuran dengan metode yang terakhir tentu harus diambil pada jarak tertentu dari rotasi *tyre ring* sehingga *ovality* yang didapatkan lebih rendah. Oleh karena itu *ovality* bersifat dinamis dan dengan demikian migrasi *tyre* merupakan indikator penting dari kondisi operasi mekanis kiln. (Moeller,2007)



### 2.3 Metals

Unsur dalam kelompok ini terdiri dari satu atau lebih Elemen logam (misalnya, besi, aluminium, tembaga, titanium, emas, dan nikel), dan sering juga unsur non logam (Misalnya, karbon, nitrogen, dan oksigen) dengan kondisi atom yang relatif kecil dalam logam dan paduan logam memiliki struktur atom yang sangat teratur (*Crystalline*) dibandingkan dengan keramik dan polimer, relatif padat. Dengan memperhatikan karakteristik mekanik, unsur logam relatif dan kuat namun yang ulet (yaitu, mampu jumlah besar deformasi tanpa kegagalan), dan ketahanan yang baik terhadap fraktur, dengan berbagai keunggulan produk logam digunakan secara luas dalam aplikasi struktural.

Perilaku mekanik material mencerminkan hubungan antara respon material terhadap deformasi untuk beban yang diberikan atau sifat desain terhadap tegangan mekanik. Kuncinya adalah kekakuan, kekuatan, kekerasan, keuletan, dan ketangguhan. Sifat mekanik bahan dipastikan dengan hati-hati dan dirancang pada percobaan di laboratorium sesuai kondisi di lapangan.

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan termasuk sifat beban yang diberikan dan *lifetime*, serta kondisi lingkungan. Hal ini dimungkinkan untuk mendeskripsikan pembebanan tarik, tekan, atau geser, dan besarnya mungkin konstan dengan waktu, atau mungkin berganti terus menerus. Lifetime material mungkin hanya beberapa detik atau mungkin selama bertahun-tahun. Temperatur servis mungkin merupakan salah satu hal penting. *Mechanical properties* dapat disesuaikan dengan penggunaan material pada berbagai fungsi dan kemampuannya.

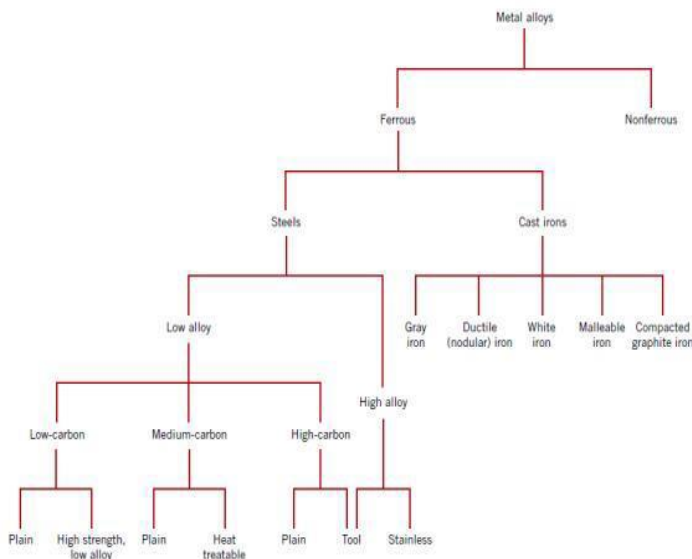
### 2.4 Ferrous alloy

Paduan logam sangat penting sebagai rekayasa bahan bangunan dan digunakan secara luas dicatat oleh tiga faktor: (1) senyawa besi yang dibutuhkan dalam jumlah berlimpah dalam kerak bumi; (2) unsur Fe dan paduan baja dapat diproduksi dengan menggunakan ekstraksi yang relatif ekonomis dengan



metode penyulingan paduan serta teknik fabrikasi ; dan (3) paduan baja yang memiliki kegunaan aplikatif, bahwa baja paduan dapat disesuaikan untuk memiliki berbagai sifat mekanik dan sifat fisik. Kelemahan dari paduan baja adalah kerentanan baja paduan terhadap korosi. Baja paduan dibahas mulai dari komposisi, struktur mikro, dan sifat dari sejumlah tipe yang berbeda dari *carbon steel* dan *cast steel*. (Callister, 2007).

Gambar 2.10 merupakan klasifikasi dan skema dari paduan logam.



**Gambar 2.10** Klasifikasi dan skema dari paduan logam

### 2.4.1 Steel

Baja adalah paduan unsur Fe dan karbon yang memiliki kadar *carbon* hingga 2% dan apabila melebihi 2% sudah termasuk klasifikasi dari *cast iron*. Paduan yang memiliki komposisi yang berbeda pada perlakuan dengan panas. Sifat mekanik yang dapat berubah terhadap kandungan karbon, yang biasanya kadar kurang dari 1,0% *carbon*. Beberapa baja yang lebih umum adalah



diklasifikasikan menurut konsentrasi karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi. Subclass juga ada dalam masing-masing kelompok sesuai dengan konsentrasi dari elemen paduan lainnya. Baja karbon biasa hanya berisi konsentrasi pengotor selain karbon dan baja paduan manganese. Sedikit lebih paduan unsur sengaja ditambahkan dalam konsentrasi tertentu untuk menaikkan sifat mekanik tertentu. (Callister, 2007)

#### **2.4.1.1 Baja karbon rendah**

Dari semua baja yang berbeda, yang diproduksi dalam jumlah besar jatuh dalam klasifikasi rendah karbon. Ini umumnya mengandung kurang dari sekitar 0,25% berat C dan tidak direkomendasikan untuk perlakuan panas yang bertujuan untuk membentuk martensit sehingga didapatkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan *cold-work*. Mikro struktur terdiri dari ferit dan perlit. Sehingga paduan ini relatif kecil dan teratur pada struktur mikto dan sifat yang tidak keras dan kuat tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa. Baja karbon rendah dapat dimachinable, weldable, tetapi yang *cost* yang dikeluarkan lebih besar. Aplikasi yang umum termasuk *main component* dengan bentuk struktural (balok, piping dan *connectors steel*), dan lembaran yang digunakan dalam pipa, bangunan, jembatan, dan tanki.

Komposisi baja karbon rendah ditunjukkan pada table 2.1 memiliki kekuatan luluh 275 MPa (40.000 psi), kekuatan Tarik antara 415 dan 550 Mpa (60.000 dan 80.000 psi), dan keuletan dari 25% EL seperti pada table 2.2. Paduan rendah (HSLA) adalah salah satu produk baja karbon rendah. HSLA mengandung unsur-unsur paduan lain seperti tembaga, vanadium, nikel, dan molibdenum dalam konsentrasi gabungan setinggi 10% berat, dan memiliki kekuatan dari baja karbon rendah. Kebanyakan mungkin diberikan perlakuan panas dan memberikan kekuatan tarik lebih dari 480 MPa (70.000 psi);



**Tabel 2.1** Komposisi carbon pada berbagai material baja karbon rendah

<i>Designation<sup>a</sup></i>		<i>Composition (wt%)<sup>b</sup></i>		
<i>AISI/SAE or ASTM Number</i>	<i>UNS Number</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Other</i>
<i>Plain Low-Carbon Steels</i>				
1010	G10100	0.10	0.45	
1020	G10200	0.20	0.45	
A36	K02600	0.29	1.00	0.20 Cu (min)
A516 Grade 70	K02700	0.31	1.00	0.25 Si
<i>High-Strength, Low-Alloy Steels</i>				
A440	K12810	0.28	1.35	0.30 Si (max), 0.20 Cu (min)
A633 Grade E	K12002	0.22	1.35	0.30 Si, 0.08 V, 0.02 N, 0.03 Nb
A656 Grade 1	K11804	0.18	1.60	0.60 Si, 0.1 V, 0.20 Al, 0.015 N

Baja karbon rendah memiliki sifat ulet, formable, dan machinable. Beberapa. Dalam penggunaan pada temperature udara, baja HSLA lebih tahan terhadap korosi dari baja karbon yang lain , yang mereka telah diganti dalam banyak aplikasi di mana struktur yang lebih kuat sangat penting (misalnya, jembatan, menara, struktur gedung bertingkat). (Callister,2007)

**Tabel 2.2** Mechanical properties dari berbagai baja karbon rendah

<i>AISI/SAE or ASTM Number</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>Plain Low-Carbon Steels</i>				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Automobile panels, nails, and wire
1020	380 (55)	210 (30)	25	Pipe; structural and sheet steel
A36	400 (58)	220 (32)	23	Structural (bridges and buildings)
A516 Grade 70	485 (70)	260 (38)	21	Low-temperature pressure vessels
<i>High-Strength, Low-Alloy Steels</i>				
A440	435 (63)	290 (42)	21	Structures that are bolted or riveted
A633 Grade E	520 (75)	380 (55)	23	Structures used at low ambient temperatures
A656 Grade 1	655 (95)	552 (80)	15	Truck frames and railway cars





#### **2.4.1.2 Baja karbon menengah**

Baja karbon-sedang memiliki konsentrasi karbon antara sekitar 0,25 dan 0.60 wt%. Paduan ini dapat diberikan perlakuan oleh austenitizing, pendinginan, dan kemudian ditemper untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon menengah. Baja menengah paling sering digunakan dalam keadaan temper, memiliki *mikro* struktur martensit temper. Baja menengah biasa memiliki hardenability rendah dan dapat di*heat treatment* hanya di bagian yang sangat tipis dan dengan pendinginan yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel, dan molibdenum meningkatkan kapasitas paduan ini menjadi *heat-treated*.

Sehingga menimbulkan berbagai kombinasi kekuatan-keuletan. Paduan yang dipanaskan ini lebih kuat daripada baja karbon rendah, tetapi mengurangi keuletan dan ketangguhan. Aplikasi dari baja menengah yaitu termasuk roda kereta api dan rel, roda gigi, poros engkol, dan bagian-bagian mesin lainnya dan kekuatan tinggi komponen struktural yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan. Komposisi beberapa baja karbon-sedang paduan tersebut pada Tabel 2.3. (Callister,2007)



**Tabel 2.3** Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon menengah.

**AISI/SAE and UNS Designation Systems and Composition Ranges for Plain Carbon Steel and Various Low-Alloy Steels**

AISI/SAE Designation <sup>a</sup>	UNS Designation	Composition Ranges (wt% of Alloying Elements in Addition to C) <sup>b</sup>			
		Ni	Cr	Mo	Other
10xx, Plain carbon	G10xx0				
11xx, Free machining	G11xx0				0.08–0.33S
12xx, Free machining	G12xx0				0.10–0.35S, 0.04–0.12P
13xx	G13xx0				1.60–1.90Mn
40xx	G40xx0			0.20–0.30	
41xx	G41xx0		0.80–1.10	0.15–0.25	
43xx	G43xx0	1.65–2.00	0.40–0.90	0.20–0.30	
46xx	G46xx0	0.70–2.00		0.15–0.30	
48xx	G48xx0	3.25–3.75		0.20–0.30	
51xx	G51xx0		0.70–1.10		
61xx	G61xx0		0.50–1.10		0.10–0.15V
86xx	G86xx0	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	
92xx	G92xx0				1.80–2.20Si

<sup>a</sup> The carbon concentration, in weight percent times 100, is inserted in the place of “xx” for each specific steel.

<sup>b</sup> Except for 13xx alloys, manganese concentration is less than 1.00 wt%.

Except for 12xx alloys, phosphorus concentration is less than 0.35 wt%.

Except for 11xx and 12xx alloys, sulfur concentration is less than 0.04 wt%.

Except for 92xx alloys, silicon concentration varies between 0.15 and 0.35 wt%.

### 2.4.1.3 Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon sekitar 0,6% sampai 1,4% adalah baja karbon dengan sifat yang paling keras, terkuat dan tidak ulet dari baja karbon lainnya. Baja karbon tinggi selalu digunakan dalam kondisi *hardened* dan *tempered*. Baja karbon tinggi biasanya mengandung kromium, vanadium, tungsten, dan molibdenum. Unsur-unsur paduan ditambahkan dalam komposisi tertentu dengan karbon untuk membentuk material yang sangat keras dan tahan aus senyawa karbida (mis, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, V<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, dan WC). Aplikasi baja karbon tinggi dapat digunakan pada *block engine* kapal, *cutting tools*, *hardened tools*. (Callister, 2007)



**Tabel 2.4** Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon tinggi.

**Typical Applications and Mechanical Property Ranges for Oil-Quenched and Tempered Plain Carbon and Alloy Steels**

<i>AISI Number</i>	<i>UNS Number</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>Plain Carbon Steels</i>					
1040	G10400	605–780 (88–113)	430–585 (62–85)	33–19	Crankshafts, bolts
1080 <sup>a</sup>	G10800	800–1310 (116–190)	480–980 (70–142)	24–13	Chisels, hammers
1095 <sup>a</sup>	G10950	760–1280 (110–186)	510–830 (74–120)	26–10	Knives, hacksaw blades
<i>Alloy Steels</i>					
4063	G40630	786–2380 (114–345)	710–1770 (103–257)	24–4	Springs, hand tools
4340	G43400	980–1960 (142–284)	895–1570 (130–228)	21–11	Bushings, aircraft tubing
6150	G61500	815–2170 (118–315)	745–1860 (108–270)	22–7	Shafts, pistons, gears

<sup>a</sup> Classified as high-carbon steels.

## 2.5 ASTM A36

ASTM A36 adalah baja karbon rendah *hot-rolled* yang paling umum digunakan. ASTM A36 memiliki sifat las yang sangat baik dan cocok untuk *grinding*, *tapping*, proses pengeboran dan permesinan.

ASTM A36 biasanya tersedia dalam bentuk sebagai berikut:

- Bar ( batangan )
- lembaran
- Circle
- Baja bentuk seperti piping, connecting steel,dll.

Tabel 2.5 menunjukkan komposisi kimia dari ASTM A36 sesuai dengan ASTM international dan Tabel 2.6 menunjukan properties material ASTM A36.



Tabel 2.5 Komposisi kimia ASTM A36

<b>Element</b>	<b>Content</b>
Carbon, C	0.25 - 0.290 %
Copper, Cu	0.20 %
Iron, Fe	98.0 %
Manganese, Mn	1.03 %
Phosphorous, P	0.040 %
Silicon, Si	0.280 %
Sulfur, S	0.050 %

Tabel 2.6 Properties material ASTM A36

<b>Physical Properties</b>	<b>Metric</b>	<b>Imperial</b>
Density	7.85 g/cm <sup>3</sup>	0.284 lb/in <sup>3</sup>
<b>Mechanical Properties</b>	<b>Pascal</b>	<b>Psi</b>
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000-79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0 %	20.0 %
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0 %	23.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000-79800 psi



### ***Machining***

Tingkat *machinability* ASTM A36 diperkirakan 72%, dan grafit potongan permukaan rata-rata dari ASTM A36 adalah 120 ft / min. Machining dari ASTM A36 lebih sulit dibandingkan AISI 1018.

### ***welding***

ASTM A36 baja mudah untuk dilakukan pengelasan menggunakan jenis metode pengelasan, dan *weld* dan *base metal* dapat terbentuk dan memiliki kualitas yang sangat baik.

### **Perlakuan panas**

Apa standar *carburizing* dan pengerasan metode AISI 1018 baja cocok untuk ASTM A36.

ASTM A36 dikenai proses berikut:

- Normalisasi                      pada 899 ° C - 954 °C(1650 ° F-1750°F)
- Annealing                        pada 843 ° C – 871°C(1550 ° F-1600°F)
- Stres relieving                  pada 677 ° C - 927°C(1250 ° F-1700°F)
- karburasi                         pada 899 ° C - 927 °C(1650°F-1700 °F)
- hardening                        pada 788 ° C - 816 °C(1450°F-1500 °F)

### **Aplikasi**

ASTM A36 baja memiliki aplikasi berikut:

- ASTM digunakan dalam mur, ulir, atau pengelasan , bangunan dan tanki penampung minyak, wear ring, peralatan otomotif dan pertanian, bagian-bagian mesin.(ASTM international,2014)

## **2.6 Analisa Kegagalan**

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut. Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang



rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

### **1. Faktor kesalahan pemilihan material**

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.7 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material.

**Tabel 2.7** Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin

<b>Permasalahan</b>	<b>%</b>
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

### **2. Perawatan komponen yang kurang baik**

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.8 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.



**Tabel 2.8** :Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen Mesin

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

### 3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperature tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.
- 8.

### 4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.9.

**Tabel 2.9** Penyebab kegagalan dalam komponen mesin

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan ( <i>fatigue</i> )	25



Kegagalan getas ( <i>brittle fracture</i> )	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran ( <i>creep</i> )	3
Abrasi, Erosi	3

## 5 Prosedur dalam analisa kegagalan

### Analisa kegagalan komponen

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, Shin-ichi, 1992)

1. Material yang digunakan
  - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
  - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
  - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
  - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
  - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*
  - f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
  - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
  - b. Atmospher : udara, air, air laut, dan sebagainya
  - c. Yang lain : kondisi perbaikan

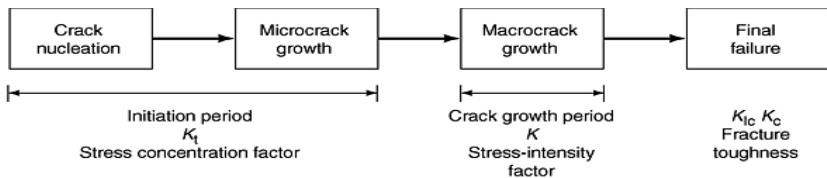




3. Uji percobaan
  - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan leleh, kekerasan patahan.
  - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

## 2.7 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjalaran retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.11 dibawah ini



**Gambar 2.11** :Mekanisme patah lelah dan faktornya (ASM Handbook Vol.19 *Fatigue and Fracture*,2002)

Menurut Schijve, terdapat 5 fase yang selama proses *fatigue*, yaitu : (ASM Handbook Committee Volume 19, 2002):

1. *Cyclic slip*
2. *Crack nucleation*
3. *Growth of microcrack*
4. *Growth of macrocrack*
5. *Final failure*



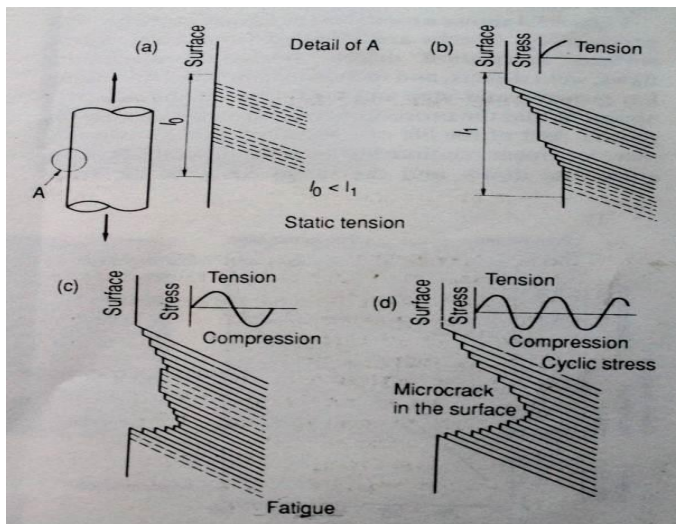
### **2.7.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)**

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam akan menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood. Beberapa model diberikan dalam menjelaskan *fatigue crack* pada gambar 2.12.

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut  $45^\circ$  dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

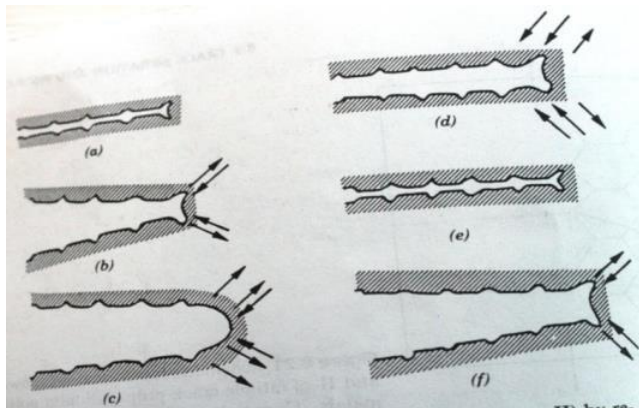
### **2.7.2 Tahap Perambatan Retak ( *Crack Propagation* )**

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula akan menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak akan menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I



**Gambar 2.12** :Model Wood untuk pengintian retak (Nishida, Shin-ichi,1992)

Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 :Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban-tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil (Callister,2007)

## 2.8 Karakteristik Patahan

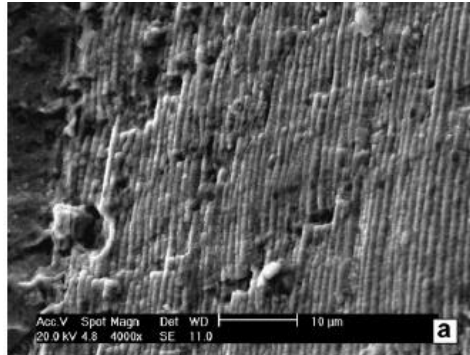
Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari modus dan penyebabnya adalah patah ulet, patah getas, patah lelah (*fatigue*), dan patah merangkak (*creep/monotonic*). Masing-masing dari jenis patahan diatas memiliki karakteristik tersendiri. Berikut adalah karakteristik dasar untuk membedakan jenis patah lelah dengan patah merangkak, jenis patah getas dengan patah ulet pada skala makro, dan jenis patah getas dengan patah ulet pada skala mikro (*ASM Handbook Committee Volume 12, 2002*):

1. Perbedaan karakteristik antara patah lelah dengan patah merangkak

*Beachmarks* dan striasi mengindikasikan patah lelah, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak terlihat. Pertanda kehadiran beach marks bisa diketahui melalui pengamatan makro menggunakan *stereomicroscope*, dan striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan *SEM fractography*



(Gambar 2.14). Profil *beachmarks* dan striasi ini merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.



**Gambar 2.14** :Foto SEM yang menunjukkan *Beachmarks* dan striasi secara mikro (Poursaedi, 2005)

2. Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala makro

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pola patah getas ditunjukkan dengan permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, serta tanpa adanya petunjuk bahwa telah terjadi deformasi plastis sebelum benda mengalami patah. Selain kedua karakteristik diatas, terdapat pola patahan gabungan (*mix-mode appearance*) baik patah getas yang bertransformasi jadi ulet ataupun patah ulet yang bertransformasi menjadi getas. Kebanyakan kasus yang terjadi adalah patah getas bertransformasi menjadi patah ulet. Contoh ciri patah ulet ditunjukkan pada Gambar 2.14.

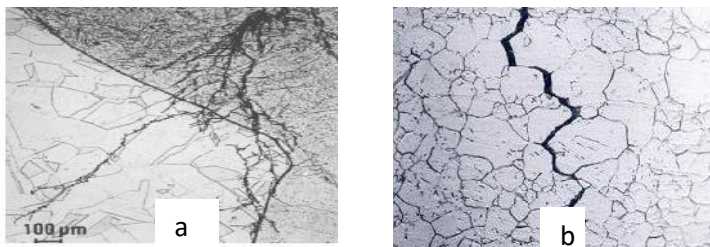
3. Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala mikro

Pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh



penjalaran retakan mikro (*micro voids coalescence*). Sedangkan patah getas ditandai dengan salah satu dari fenomena berikut:

- a. Patahan melintasi butiran atau patah transgranular, dikenal dengan nama *cleavage*, ditunjukkan pada Gambar 2.15 (a)
- b. Patahan melewati batas butir atau patah intergranular, dikenal dengan nama *intergranular embrittlement*, ditunjukkan pada Gambar 2.15 (b)



Gambar 2.15 :Retakan dengan pola rambatan (a) Transgranular (b) Intergranular (Colangelo, 1989)

## 2.9 Fretting Fracture

*Fretting* adalah fenomena yang terjadi pada dua material yang bergesekan atau bersentuhan, pada awalnya terjadi pada material di alam dengan penyebabnya yaitu getaran dan gesekan. *Fretting* sering dijumpai dengan korosi dan *fretting* bahan logam di udara menghasilkan oksida. Sehingga dalam aplikasinya logam dapat dilumasi oleh *lubricant* sehingga korosi dapat dikendalikan. *Wear fretting* sering terjadi pada material yang tidak memiliki oksida seperti emas, platina dan oksida tembaga. Logam *non ferrous* sebagian besar *unoxidized* dan memiliki partikel lebih besar.

Secara umum, fretting terjadi antara dua permukaan yang berbeda material dan saling bersentuhan dan memiliki beban siklik. Oksidasi logam adalah konsekuensi langsung yang terjadi pada atmosfer normal sehingga akan terjadi *fretting wear* atau



*fretting corrosion* pada fenomena tersebut. Fenomena ini biasanya merupakan hasil dari getaran eksternal dan itu adalah konsekuensi bagi salah satu material bersentuhan dengan sifat mekanik paling rendah yang sedang mengalami *cyclic stress (Fatigue)*, yang ditimbulkan dan aspek lebih merusak dari *fretting* yaitu inisiasi dini *fatigue crack*.

Karakteristik *Fretting fracture* atau *fretting contact*, dimana *fatigue crack* dimulai pada saat permukaan yang bersentuhan dibawah beban normal yang besar dan terjadi tegangan tarik statis disalah satu permukaan.

## 2.10 Hertzian stress

*Hertzian pressure* adalah kontak tekanan antara *roller* dengan *tyre*. Perhitungan *hertzian* merupakan fungsi dari diameter *tyre* dengan *roller* dengan sebgaaian besar permukaan dan luas dari permukaan *roller* dan *tyre*. Ketika dua material yang berbeda bergesekan menghasilkan tegangan yang berbeda pada setiap sudut dan dihasilkan tegangan maksimum pada suatu titik tertentu.

*Hertzian contact stress* ini membahas *localized stresses* yang terjadi pada dua permukaan logam ring yang bersentuhan pada bagian tertentu dan merusak pada bagian bawah yang diberikan beban. Deformasi yang terjadi tergantung pada modulus elastisitas dari material kontak. Ini memberi stres kontak sebagai fungsi dari gaya kontak normal, jari-jari ring kedua permukaan dan modulus elastisitas kedua permukaan. *Hertzian contact stress* membentuk dasar untuk persamaan dalam kemampuan menahan beban dan *fatigue limit* dari *wearing tyre*, roda gigi, dan setiap permukaan lain di mana dua permukaan bergesekan.



## 2.11 Tinjauan Penelitian

Penelitian yang dilakukan berlandaskan beberapa kajian penelitian sebelumnya yang juga membahas mengenai kegagalan yang terjadi pada *tyre ring* dan *wearing ring*.

Ziga Alma, dkk. (2009) dalam penelitiannya yang berjudul “*Theoretical and experimental research on Stresses of a kiln ring*” meneliti penyebab-penyebab kegagalan pada *tyre ring* yang terkonsentrasi pada *kiln load*, *contact stress* dan *bending stress*. Tekanan yang terbesar terjadi karena kontak pada *tyre ring* dengan *supporting roll* yang disebut dengan *hertzian stress*. *Hertzian stress* merupakan penyebab terjadinya *crack* dan kegagalan pada *tyre ring* selain *axial load*, *kiln load*, pergeseran permukaan dan temperatur yang berpengaruh.

XIAO you gang, dkk. (2006) dalam penelitiannya dengan judul “*Contact pressure distribution and support angle optimization of kiln tyre*” meneliti terjadinya kontak tegangan yang terjadi antara *shell kiln* dengan *tyre ring* dan *supporting roll* sehingga *kiln load* yang diberikan kepada *tyre ring* dan kontak dengan *support roll*, dan pada *wearing ring* yang tidak bergerak dapat berlaku *shear stress* dengan beban yang ditanggung adalah  $X4 \sin \beta$ .

## 2.12 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

-Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$  (Dieter, 1987).

-Uji Kekerasan Brinell





Uji brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja chrom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan diiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan logam yang diuji dengan menggunakan rumus:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D [(D - \sqrt{D^2 - d^2})]}$$

Dimana :

P = Beban yang diberikan (KP atau Kgf).

D = Diameter indenter yang digunakan.

d = Diameter bekas lekukan.

### 2.13 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi yang tinggi dipandingkan dengan mikroskop optik. Analisa pada SEM digunakan untuk mengetahui mikrostruktur. Berkas sinar elektron dihasilkan dari filamen yang dipanaskan yang disebut *electron gun* . Sebuah ruang vakum diperlukan untuk preparasi spesimen. Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi pada lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi akan menghasilkan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai spesimen menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Pada permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) akan menghasilkan gambar yang terdiri dari ribuan titik dalam berbagai intensitas sebagai topografi gambar. (Kroschwits, 1990).

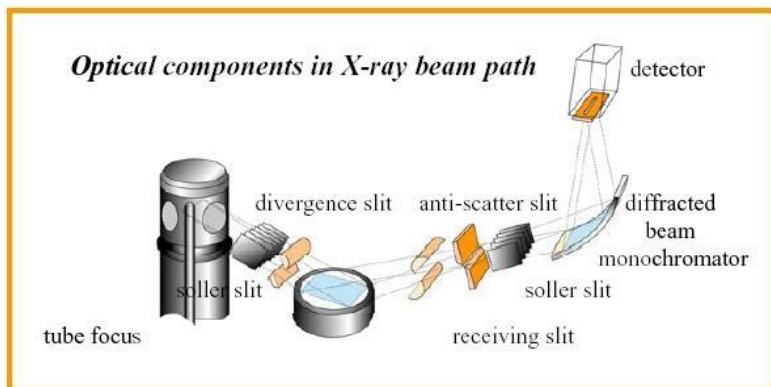


Pada layar akan diproyeksikan berkas elektron yang sebelumnya dikonsentrasikan pada spesimen yang bayangannya diperbesar dengan lensa objektif (Gabriel, 1993).

### 2.14 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan salah satu alat pengujian material yang biasanya digunakan untuk identifikasi unsur atau senyawa (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi (analisis kuantitatif). Pengamatan dengan mikroskop akan menjelaskan bagaimana distribusi fasa yang teridentifikasi berdasarkan hasil XRD.

Pengujian XRD memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada gambar 2.16. Generator tegangan tinggi berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian *x-ray tube*. Sampel berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang dapat diatur posisinya. Lalu berkas sinar-X ditembak ke sampel dan didifraksikan oleh sampel, masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk kurva.



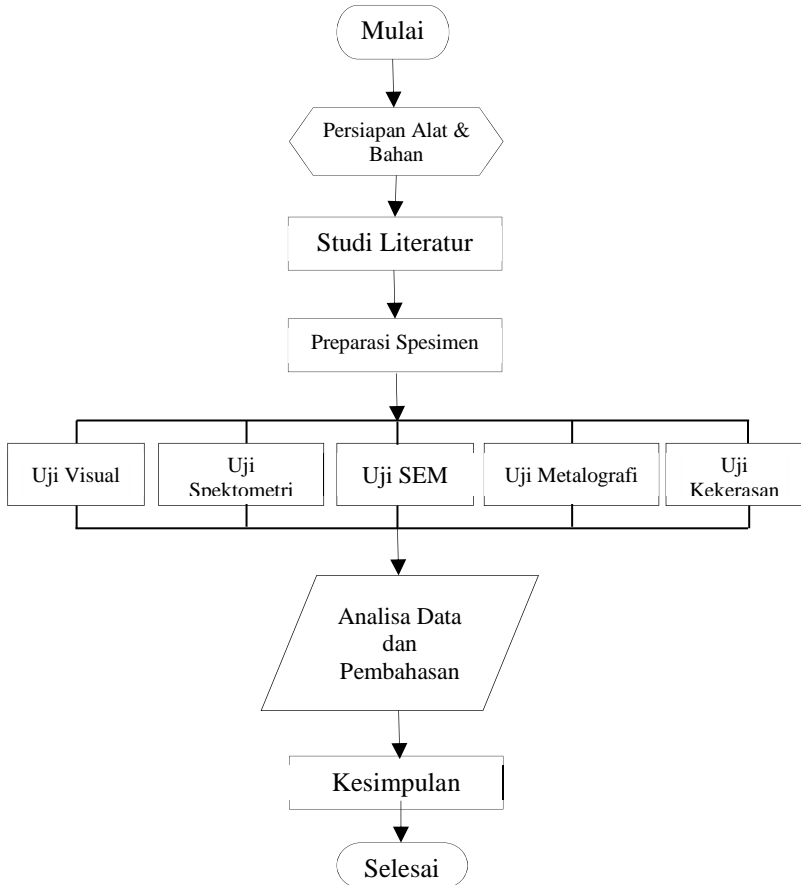
**Gambar 2.16** : Skema Alat XRD

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini akan melalui beberapa pengujian seperti ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian



### 3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini meliputi studi lapangan, studi literatur, dan pengujian. Berikut adalah hal-hal yang mencakup penelitian antara lain :

1. Studi Lapangan

Metode ini berupa pencarian informasi mengenai komponen yang akan diteliti beserta informasi mengenai kegagalan yang telah terjadi pada komponen. Pencarian informasi yang dilakukan dengan cara terjun langsung ke perusahaan yakni PT. Semen Indonesia dan berdiskusi secara langsung dengan pihak PT. Semen Indonesia serta dosen pembimbing.

2. Studi Literatur

Metode ini mengacu pada buku-buku, jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari permasalahan analisa kegagalan pada *Wearing ring* untuk *Tyre Ring Rotary Kiln* Unit 2 PT Semen Indonesia.

3. Pengujian

Metode ini dilaksanakan dengan cara pengujian secara langsung sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu pengamatan secara *visual* mengenai bentuk patahan yang terjadi dengan menggunakan kamera dan mikroskop optik, pengamatan secara mikro dengan menggunakan mesin SEM, pengujian komposisi dengan menggunakan spektrometer, pengujian struktur mikro menggunakan mesin uji metalografi dan pengujian kekerasan untuk mengetahui distribusi kekerasan yang terjadi pada komponen.

### 3.3 Material yang Digunakan

Material uji yang digunakan dalam penelitian ini yakni Spesimen *wearing ring* yang digunakan pada *Tyre ring rotary kiln* unit 2 PT. Semen Indonesia yang telah mengalami patah pada Desember 2015 diperlihatkan pada gambar 3.2, 3.3, 3.4, dan 3.5.



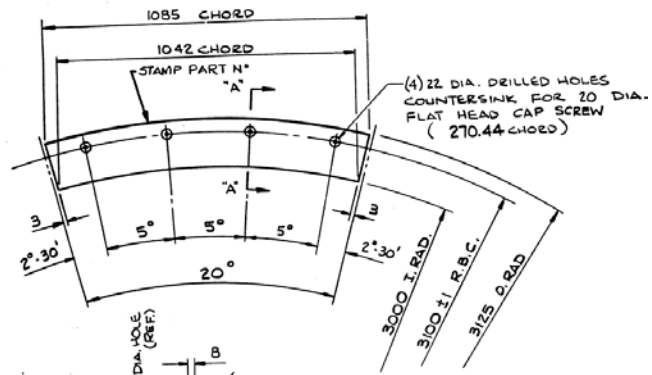
Spesifikasi dimensi *wearing ring* ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Spesifikasi dimensi Spesimen *wearing ring*.

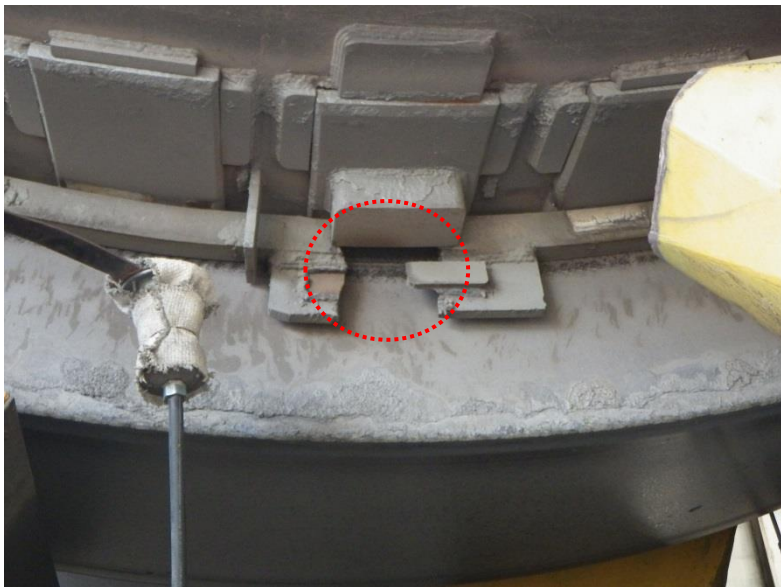
Part Number	728-91-2-1717	
Weight (Kg)	52 Kg	
Material	ASTM A36	
Diameter (mm)		
Panjang	Tinggi	Diameter
75	150	6250

Tabel 3.2 Temperatur dan diameter Tyre ring rotary kiln

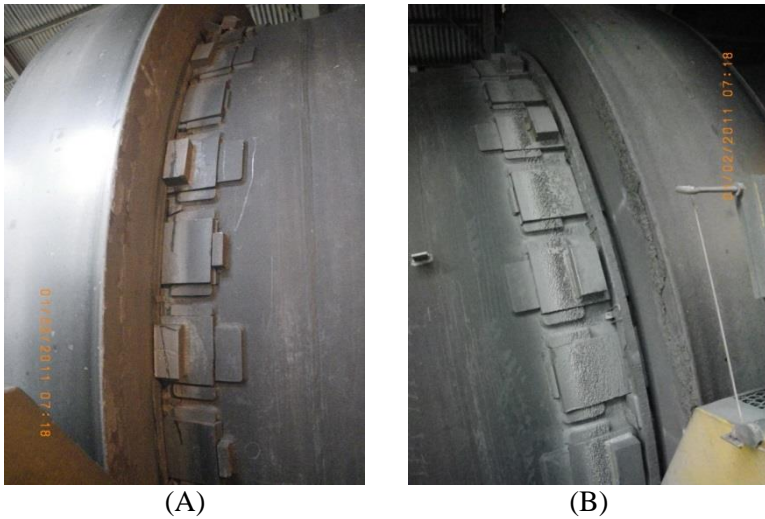
Tyres - Temperatures and diameters				
Tyre No.	Measurements taken during the inspection			Original value
	Temperature measured [°C]	Diameter [mm] at temperature measured	Diameter [mm] at 20°C	Diameter [mm] at 20°C
I	167	6761.8	6749	6752
II	223	6844.0	6826	6828
III	187	6770.6	6756	6757



**Gambar 3.2** Data desain Wearing ring Tyre ring Rotary Kiln.



**Gambar 3.3** Wearing ring dalam keadaan patah saat menempel pada Rotary kiln



(A) (B)  
Gambar 3.4 *Wearing ring* dalam kondisi kerja dan menempel pada *shell kiln* (A) pada *uphill wearing ring* (B) pada *down hill wearing ring*.



Gambar 3.5 *Wearing ring* yang mengalami kegagalan



### **3.4 Peralatan dan Bahan**

#### **3.4.1 Peralatan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggaris
2. Mesin Potong
3. Kamera Digital
4. Mesin Polish
5. Mesin grinding
6. *Stereo Mikroscope*
7. Mesin SEM - EX
8. Mesin Spektrometer
9. Mesin Uji Kekerasan

#### **3.4.2 Bahan Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Resin
2. Kertas Gosok *Grade* 80, 100, 150, 240, 320, 480, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.
3. Larutan Etsa

### **3.5 Tahapan Penelitian**

#### **3.5.1 Pengambilan Data dan Komponen**

Tahapan ini dilakukan dengan cara terjun langsung ke PT. Semen Indonesia untuk melihat langsung dan pengambilan komponen yang mengalami kegagalan. Selain itu bertujuan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan *wearing ring* sebagai data awal penelitian. Data ini diperlukan sebagai pendukung dalam proses analisa kegagalan pada patahnya *wearing ring* yang meliputi dimensi *wearing ring*, desain *wearing ring*, dan data operasi.





### 3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap persiapan specimen diperlukan sebelum specimen diuji untuk menentukan penyebab terjadinya kegagalan material pada *wearing ring*. Persiapan yang dilakukan meliputi proses *cutting* dan *sectioning*.

Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung *crack* dan yang jauh dari *crack*. Hal ini bertujuan untuk membandingkan data yang diperoleh untuk material yang baru dengan material yang sudah rusak. Proses *sectioning* dilakukan untuk mendapatkan ukuran specimen yang lebih proposional sesuai standar ukuran untuk pengamatan visual, pengujian sem, pengujian komposisi, dan pengujian kekerasan.

### 3.5.3 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan, dan lokasi material yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan ini menggunakan kamera digital dan mikroskop stereo.

Adapun perlakuan yang dilakukan terhadap sampel material adalah dengan cara mengambil fotografi dengan kamera digital yang bertujuan untuk mendapatkan informasi bentuk kegagalan yang terjadi secara makro dan menggunakan *stereomicroscope* dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan profil makronya.



**Gambar 3.6** kamera Canon DSLR dan mikroskop stereo.



### 3.5.4 Pengujian komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*) untuk mengetahui komposisi kimia yang ada pada Spesimen wearing ring.



**Gambar 3.7** Mesin uji komposisi

### 3.5.5 Pengujian Mikroskopik

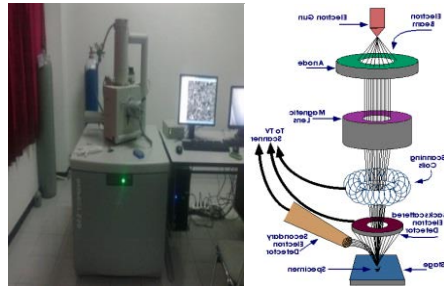
Pengamatan mikroskopik yang dilakukan adalah dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang merupakan sebuah mikroskop yang didesain untuk menganalisa permukaan dari objek solid secara langsung.

Langkah-langkah dalam pengujian SEM adalah sebagai berikut :

1. Spesimen yang telah disiapkan kemudian dibersihkan dengan hati hati menggunakan *blower* agar debu dan pengotor lainnya hilang.
2. Spesimen diletakkan di atas *holder* yang sebelumnya telah dilekatkan dengan *carbon tape*. *Carbon tape* berfungsi untuk melekatkan *holder* dengan sampel.
3. Spesimen yang telah dilekatkan pada *holder* dimasukkan ke dalam mesin SEM dan siap untuk dilakukan proses pengamatan. Proses pengamatan



dilakukan dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan gambaram permukaan dari sampel yang diuji.



**Gambar 3.8** mesin SEM dan skema kerja mesin sem

### 3.5.6 Pengujian Metalografi

Pada pengamatan metalografi dengan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisa fasa, bentuk, dan ukuran strukturmikro. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF.

Pada pengujian metalografi dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

#### 1. Tahap persiapan

- *Mounting* : Membuat cetakan pada spesimen dengan resin agar proses penggosokan menjadi lebih mudah
- *Grinding* : Menggosok spesimen dengan kertas gosok grade 80 – 2000 dan dialiri dengan air. Spesimen diputar 90° atau tegak lurus terhadap arah gosokan ketika pindah grade.
- *Polishing* : Memoles spesimen dengan pasta alumina di atas piringan yang berputar cepat. Proses ini akan menghasilkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
- *Etching* : Mencelup permukaan spesimen ke dalam larutan nital 2% (Alkohol 98% dan HNO<sub>3</sub> 2%)



## 2. Tahap pengamatan

- Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen dengan mikroskop optik dengan beberapa kali perbesaran.



**Gambar 3. 9** Mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*

### 3.5.7 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Brinell dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 62.5 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.



**Gambar 3.10** Mesin uji kekerasan brinell



### 3.6 Rancangan Penelitian

Bahan	Metalografi	SEM	Spektrometri	Hardness
Bagian Crack	√	√	√	√
Bagian Jauh dari Crack	√	-	-	√

### 3.7 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Preparasi alat dan bahan																
Pengujian OES																
Pengujian Metallografi																
Pengujian Hardness																
Pengujian SEM																
Analisis data																
Penyusunan laporan																
Asistensi laporan																



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 ANALISA DATA**

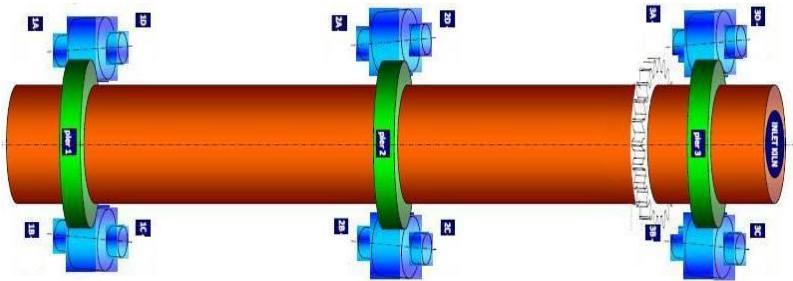
##### **4.1.1 Record Wearing ring Tyre**

*Wearing ring* merupakan komponen yang memiliki kontak langsung dengan shell kiln dan berfungsi untuk melindungi *Tyre ring* dari kerusakan yang terjadi sehingga mengganggu proses produksi. *Rotary kiln* bergerak dari atas ke bawah dan memiliki kemiringan sekitar  $4^{\circ}$  dan memiliki *ovality* yang berbeda di masing-masing *Tyre ring*. Sehingga untuk menangani masalah tersebut dan untuk melindungi kerusakan pada *Tyre ring* dibutuhkan *wearing ring* yang terletak pada *Up hill* dan *Down hill Tyre ring* tersebut.

Permasalahan yang sering terjadi adalah kegagalan pada *wearing ring* pada bagian *Tyre ring*. *Tyre ring* bergesekan langsung dengan supporting roll dan merupakan komponen pada *rotary kiln* yang berfungsi untuk menerima distribusi beban dan gaya yang diberikan dari pergerakan *rotary kiln*. *Tyre ring* yang menempel pada *rotary kiln* berputar secara *counter clockwise* setelah bergesekan dengan supporting roll.

Pada bulan desember tahun 2015 ditemukan kembali patahan pada sisi *up hill wearing ring Tyre ring* 1 pada unit kiln. *Uphill wearing ring* ini kembali patah menjadi 2 bagian dengan usia pakai selama 2 tahun dari umur pakai yang seharusnya mencapai 10 tahun. Penanganan yang telah dilakukan pada *uphill wearing ring* tersebut berupa pengelasan pada bagian terluar patahan.

Berikut adalah posisi dan history kegagalan pada *wearing ring Tyre ring* 1 pada kiln tuban 1 yang diperlihatkan pada gambar 4.1 dan tabel 4.1.



**Gambar 4.1** Posisi *Wearing ring* dan *tyre ring* pada rotary kiln Tuban.

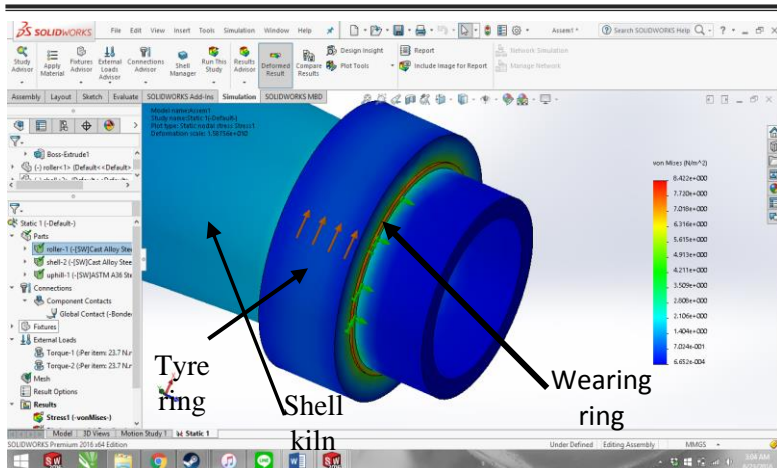
**Tabel 4.1** *history* kegagalan pada *wearing ring Tyre*

Tanggal	keterangan
01-02-2011	<b>441KL1-</b> <i>Tyre ring</i> 1 patah
20-01-2011	<b>441KL1-</b> <i>Pad Tyre</i> 2 patah
23-02-2011	<b>443KL1-</b> <i>Retainer ring Tyre</i> 1 patah
21-12-2012	<i>Ring Tyre</i> 1 patah
21-12-2012	<i>Ring Tyre</i> 1 patah pada <i>Uphill</i>

#### 4.1.2 Analisa titik kritis

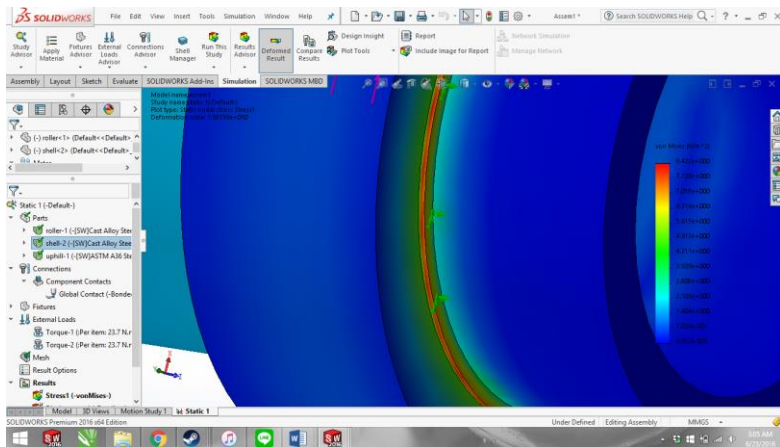
Analisa titik kritis dilakukan untuk mengetahui lokasi terjadinya pemusatan tegangan pada komponen *uphill wearing ring tyre* yang mengalami kegagalan. Untuk itu dilakukan simulasi menggunakan software solidwork. Pada solidwork dilakukan modeling dengan bentuk kerja *kiln* dengan *wearing ring* dan *tyre ring* seperti pada gambar 4.2





**Gambar 4.2** Gambar modeling *wearing ring* dan *tyre ring* kiln Tuban

Pembebanan yang didapatkan dari analisis tegangan pada komponen *wearing ring tyre* adalah pembebanan yang sebenarnya. Dari hasil simulasi pembebanan yang diberikan maka didapatkan hasil seperti pada gambar 4.3 terpusat tegangan pada *uphill wearing ring tyre* kiln unit 2. Sehingga didapatkan hasil pemusatan tegangan yang dibedakan dengan indikasi warna dimana pada tegangan yang palinfg besar pada *uphill wearing ring tyre* ditandai pada warna merah kekuningan.



**Gambar 4.3** Pemusatan tegangan pada *uphill wearing ring*

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui tegangan yang bekerja pada komponen *uphill wearing ring tyre* yang mengalami kegagalan ini sebesar 191,46 Mpa yang masih jauh bila dibandingkan dengan tegangan standart ( $\sigma_u$ ) yaitu sebesar 400 MPa. Dan torsi yang diberikan sebesar 47,4 Nm Sehingga tegangan yang bekerja pada *uphill wearing ring tyre* ini masih berada pada batas standart yang diizinkan.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian OES

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada patahan komponen *wearing ring tyre* dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia, agar dapat diketahui apakah komposisi dari material ini sudah sesuai dengan standar yang ada. Hasil pengujian komposisi kimia dari sampel *wearing ring tyre* yang mengalami patah dibandingkan dengan standar ASTM A36 ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil komparasi material *wearing ring* ASTM A36.

Unsur (%)	Sampel patahan ASTM A36	Standart ASTM A36
Fe	Balance	Balance
C	0,211	0,180-0,290
Si	0,276	0,280
Mn	1,28	1,03
P	0,0142	0,040
Cr	0,110	0,100
Ni	0,0684	-
Cu	0,407	0,200
S	0,051	0,050

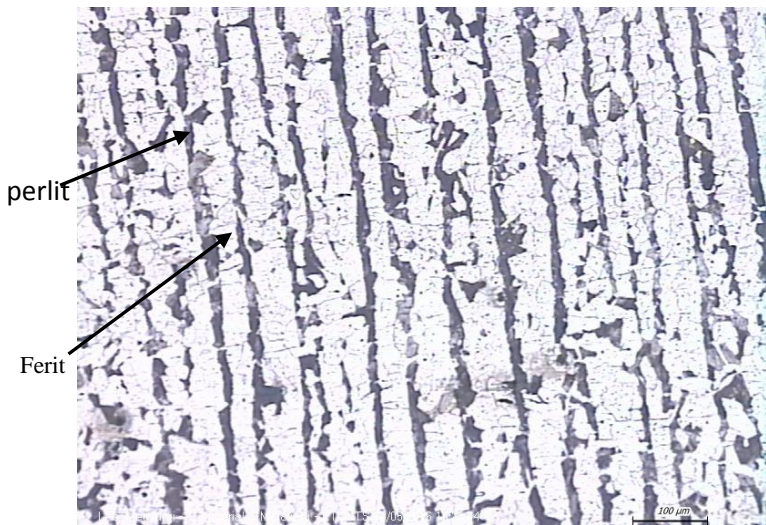
Pada tabel 4.2 menunjukan perbandingan antara sampel patahan yang menggunakan ASTM A36 dengan Standar dari ASTM A36. Didapatkan hasil perbandingan yang tidak jauh berbeda dimana pada sampel patahan memiliki unsur Fe sebesar 97,7 % sedangkan pada standar ASTM A36 sebesar 98% dan kadar carbon yang dimiliki sampel patahan sebesar 0,21% sedangkan pada standar sebesar 0,18-0,29%. Pada unsur-unsur lainnya yang didapatkan pada sampel patahan masih dalam tahap yang wajar dan memiliki perbedaan yang dapat diterima dari standar ASTM A36 yang merupakan baja karbon rendah .

#### 4.1.4 Hasil pengujian metalografi

Pada Pengujian metalografi bertujuan untuk menemukan perbedaan pada struktur mikro dari daerah yang dekat dengan patahan dan jauh dengan patahan. Sebelum pengujian dilakukan preparasi spesimen yang meliputi pemotongan spesimen, *grinding* , *polishing* dan etsa menggunakan nital 5% dengan pencelupan (*immerse*) selama 5 detik.

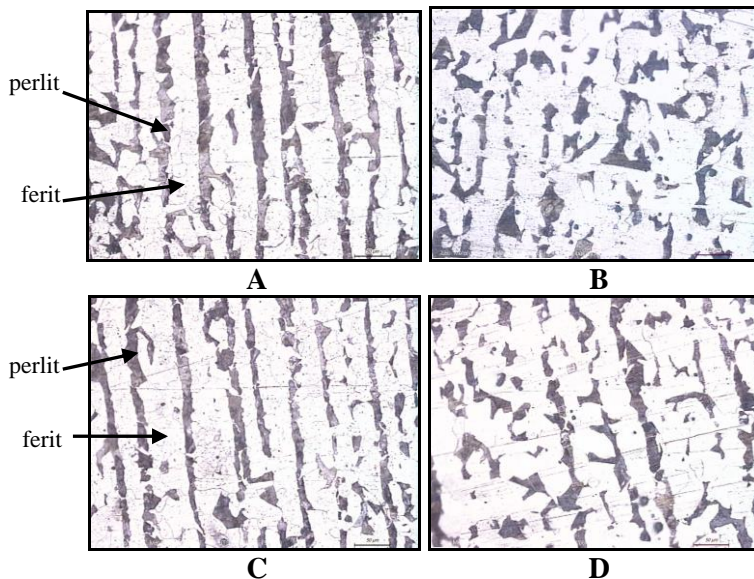


Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada daerah yang jauh dari patahan dan yang dekat dari patahan. Sehingga dapat diamati apakah material mengalami perubahan fasa yang menyebabkan berubahnya sifat dari material tersebut yang memicu terjadinya kegagalan. Pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 100x sampai dengan 1000x dengan menggunakan alat mikroskop optik.



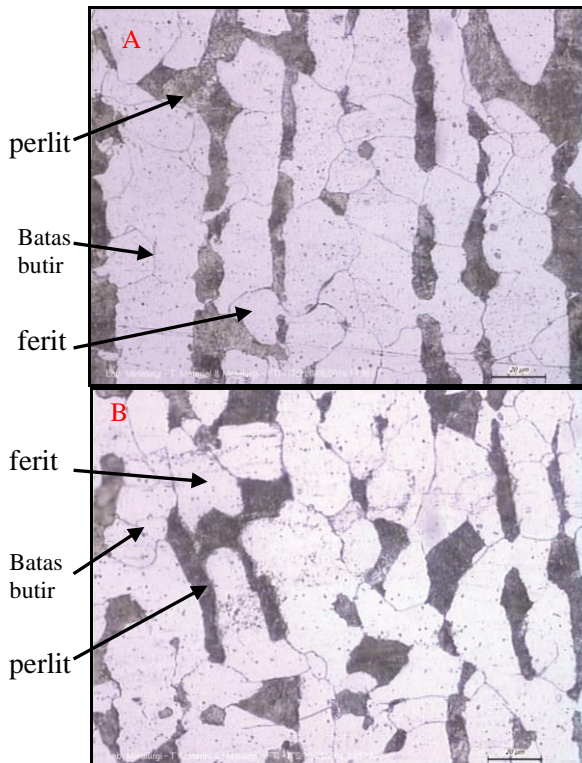
**Gambar 4.4** Struktur mikro ASTM A36 perbesaran 100x pada material yang dekat dari patahan

Pada gambar 4.4 struktur mikro pada daerah dekat patahan dengan pembesaran 100x terlihat bahwa fasa *pearlite* lebih banyak memanjang (*elongated*) dan menurut derajat deformasi fasa yang *elongated* merupakan hasil dari derajat deformasi yang lebih besar dimana hal tersebut dikaitkan dengan kekerasan dan kekuatan yang semakin meningkat.



**Gambar 4.5** Struktur mikro ASTM A36 perbesaran 200x (A) dan (C) pada material yang dekat dan patahan dan (B) dan (D) pada material yang jauh dari patahan.

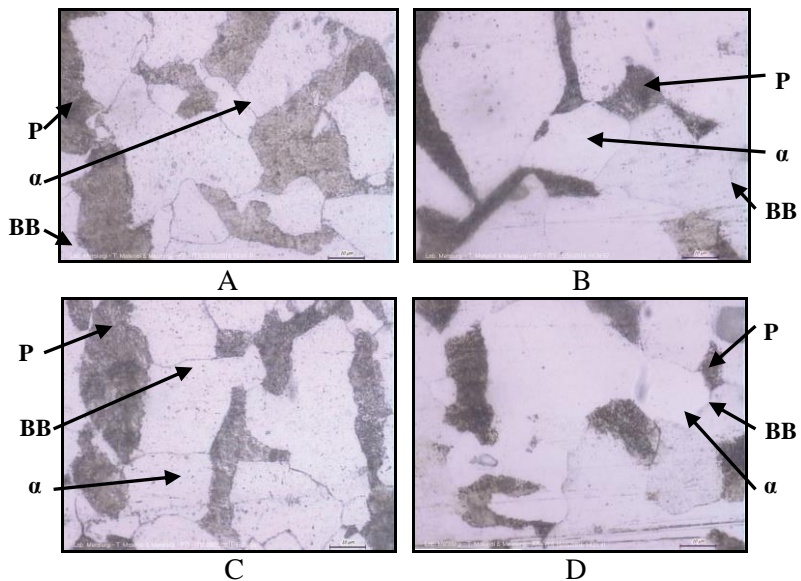
Dari gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro pada pembesaran 200x diatas menunjukkan struktur yang terjadi pada komponen yang dekat dan jauh dari patahan *wearing ring tyre* . Pada gambar struktur mikro diatas terlihat fasa *ferrite-pearlite* yang terjadi pada dekat maupun jauh dari patahan. Pada dekat pada terlihat bahwa *pearlite* lebih memanjang dan terlihat jelas batas butirnya. *Pearlite* yang lebih memanjang ini dapat disebabkan oleh kekuatan dan kekerasan pada daerah dekat patahan lebih besar dibandingkan dengan yang jauh dari patahan . Sehingga pada struktur mikro yang jauh dari patahan terdapat sedikit *pearlite* yang memanjang dan cenderung membentuk butiran equiaxed dikarenakan bukan titik kritis dan tidak dikenakan beban sebesar pada dekat patahan.



**Gambar 4.6** Struktur mikro ASTM A36 perbesaran 500x pada material (A) yang dekat dari patahan dan ( B ) yang jauh dari patahan.

Dari gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro dengan pembesaran 500x pada dekat dan jauh dari patahan terlihat jelas bahwa fasa yang terbentuk adalah *ferrite – pearlite*. Pada struktur yang jauh dari patahan terlihat bahwa pola struktur lebih merata (*equiaxed*) Dibandingkan dengan yang dekat dari patahan . hal tersebut menunjukkan bahwa pada daerah yang jauh dari patahan kekerasan dan kekuatan cenderung lebih rendah.





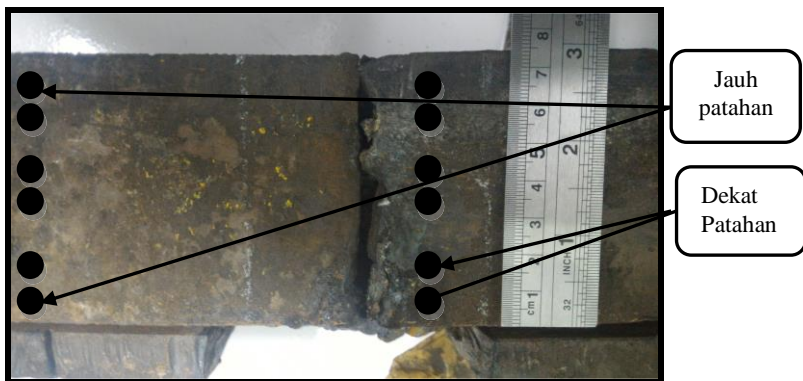
**Gambar 4.7** Struktur mikro ASTM A36 perbesaran 1000x (A) dan (C) pada material yang dekat dan patahan dan (B) dan (D) pada material yang jauh dari patahan.

Pada gambar 4.7 menunjukkan struktur mikro dengan pembesaran 1000x terlihat jelas perbedaan antara struktur mikro yang dekat dari patahan dan yang jauh dari patahan . Pada material dekat patahan struktur *pearlite* lebih memanjang dengan batas butir yang lebih banyak dan kecil, ini dikarenakan distribusi yang diberikan lebih besar pada daerah dekat patahan dan menunjukkan daerah lebih banyak lokasi tegang dan kekerasan yang meningkat. sedangkan pada struktur mikro jauh dari patahan struktur fasa *pearlite* lebih membulat dan terlihat lebih sedikit serta batas butir yang lebih membesar.



#### 4.1.5 Hasil pengujian kekerasan

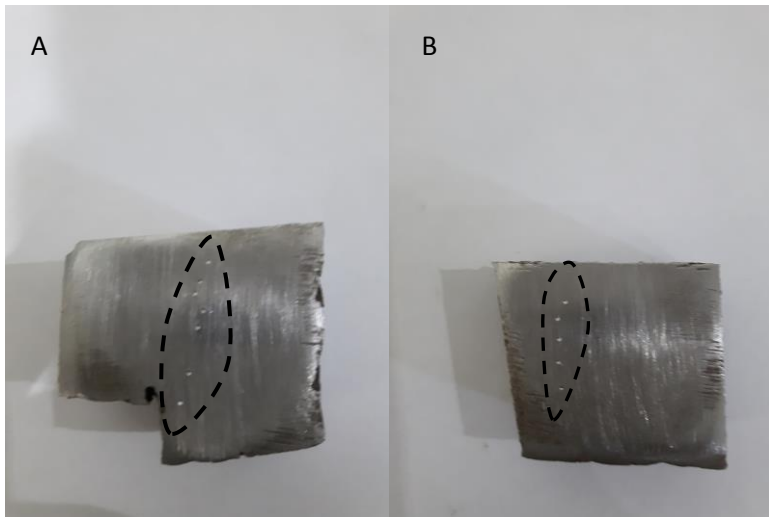
Pengujian hardness ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *wearing ring tyre* yang mengalami kegagalan dan yang berada jauh dari kegagalan diperlihatkan pada gambar 4.8 . Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 6 titik, indentasi dilakukan pada daerah yang dekat dan jauh dari patahan. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada gambar 4.8. Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan preparasi specimen uji yang meliputi pemilihan daerah dekat dan jauh dari patahan dan dipotong daerah yang akan diuji. Spesimen uji diamplas dengan grade 80 hingga permukaan specimen terlihat rata sehingga menghasilkan pengujian yang optimal.



Gambar 4.8 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan Brinell

Pada gambar 4.9 merupakan specimen uji kekerasan pada dekat dan jauh patahan *wearing ring tyre* kiln tuban unit 2. Dengan menggunakan indenter bola baja (Brinell) dan waktu indentasi selama 15 detik yang disesuaikan dengan ASTM E10 waktu pada baja karbon. Titik indentasi sebanyak 6 titik dan didapatkan hasil yang sesuai dengan ASTM dimana Baja karbon rendah ASTM A36 memiliki nilai kekerasan antara 100-159 BHN. Gambar 4.9 (A) specimen uji dekat patahan dan (B) jauh dari patahan.





**Gambar 4.9** Spesimen uji kekerasan (A) dekat patahan dan (B) jauh patahan.

Pada Tabel 4.3 merupakan nilai kekerasan hasil pengujian yang dilakukan pada daerah dekat patahan dan yang jauh dari patahan dengan menggunakan indenter bola baja dengan waktu indentasi selama 15 detik. Dan pada grafik distribusi kekerasan hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10.

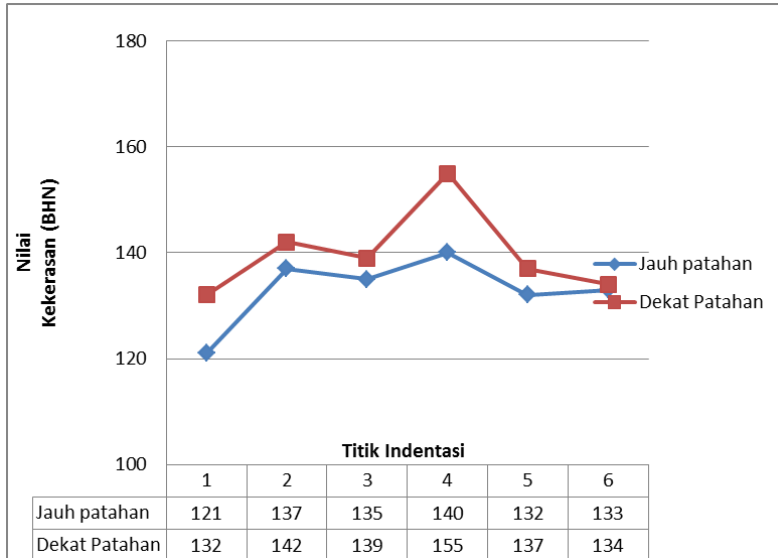
**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Kekerasan (Brinell)

BHN (Brinell Hardness Newton)		
Daerah Indentasi	Pada daerah yang jauh dari patahan	Pada daerah yang Dekat dari patahan
1	121	132
2	137	142
3	135	139
4	140	155
5	132	137
6	133	134
Average	133	139,8

Berdasarkan tabel 4.3 didapatkan hasil dari pengujian kekerasan dengan menggunakan mesin *universal hardness tester* di laboratorium metalurgi dengan menggunakan indenter bola baja dengan diameter 10 mm. Nilai kekerasan yang didapatkan pada dekat patahan lebih tinggi dibandingkan pada jauh patahan. Rata-rata nilai kekerasan pada daerah jauh patahan sebesar 133 BHN dan pada dekat patahan sebesar 139,8 BHN. Sehingga komponen pada dekat patahan mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 6,8BHN dibandingkan dengan yang jauh dari patahan. Berdasarkan data didapatkan pada setiap titiknya kenaikan yang berbeda-beda, kenaikan yang terbesar pada titik indentasi yang ke 4 dimana pada jauh patahan sebesar 140 BHN dan jauh patahan 155BHN. Hal tersebut dikarenakan titik ke 4



merupakan titik tengah pada setiap daerah patahan, dan titik tengah patahan memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi dikarenakan konsentrasi tegangan yang terpusat pada daerah tersebut.

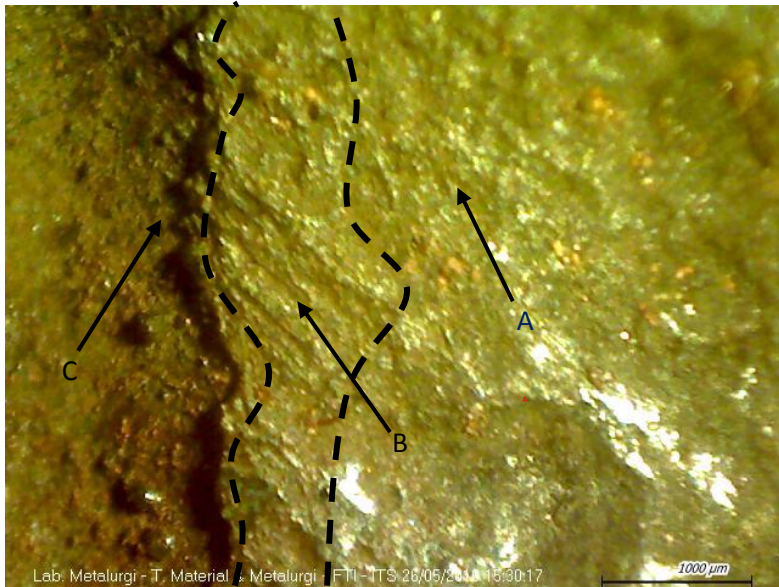


**Gambar 4.10** Grafik distribusi kekerasan pada komponen *wearing ring Tyre* .

#### 4.1.6 Hasil Fraktografi

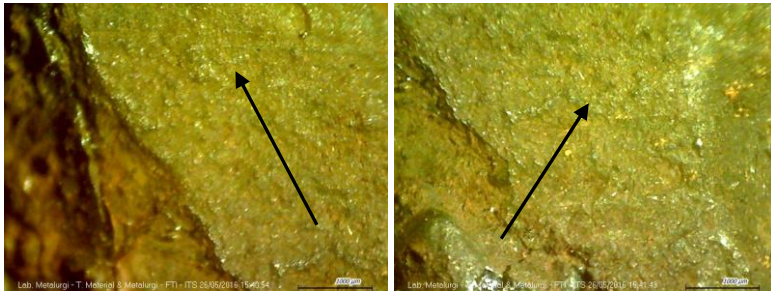
Pengamatan visual pada permukaan patahan secara makro dengan menggunakan kamera SLR dan mikroskop stereo pada daerah patahan. Hasil pengamatan dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan, dan lokasi kegagalan yang terjadi pada sampel komponen *wearing ring* yang mengalami kegagalan.

Pengamatan morfologi permukaan patahan secara mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pada pengamatan morfologi permukaan dilakukan pembesaran 100x, 500x dan 1000x.



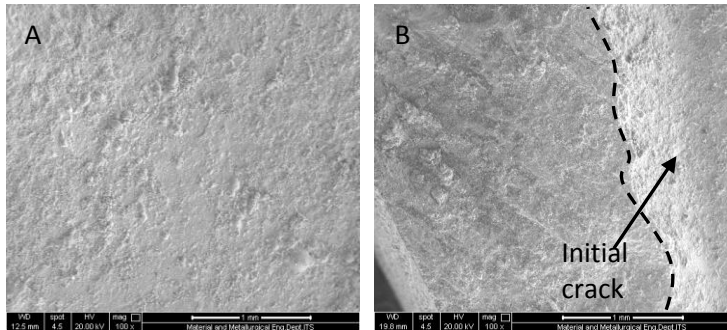
**Gambar 4.11** Pembagian daerah: (A) retak awal, (B) rambatan retak dan (C) retak akhir

Pada Gambar 4.11 permukaan patahan *Wearing ring tyre* yang diambil dengan mikroskop stereo dapat diamati daerah patahan dibagi menjadi 3 daerah yaitu retak awal (*initial crack*), rambatan retak (*crack propagation*), dan retak akhir (*final crack*). Dimana pada daerah (A) daerah *initial crack* dimana permukaan lebih halus dan patahan terlihat lebih tersusun. Pada daerah (B) daerah *crack propagation* dimana pada daerah ini diamati dengan mikroskop stereo terlihat penjalaran retaknya yang diindikasikan dengan struktur patahan yang memanjang dan sedikit kasar. Sedangkan pada daerah (C) pada daerah *final crack* butiran patahan terasa lebih kasar dan lebih besar dibandingkan *initial crack*.

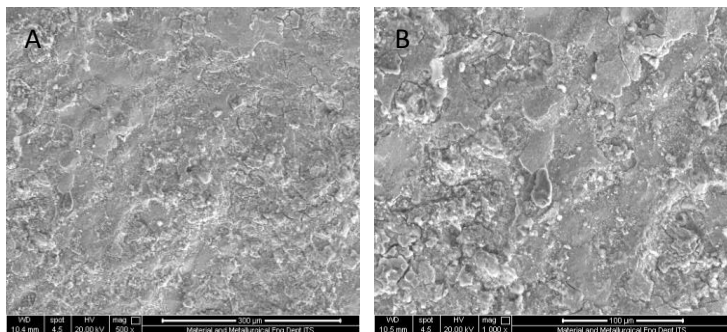


**Gambar 4.12** Daerah *initial crack* diambil dengan *stereomicroscope* perbesaran 10x

Pada gambar 4.12 menunjukkan daerah retak awal hasil pengamatan menggunakan *stereomicroscope* perbesaran 10x terdapat bagian pinggir dari patahan *wearing ring tyre* yang terlihat permukaan yang terang dan halus dibandingkan dengan permukaan sekitarnya. Ciri-ciri tersebut merupakan tanda dari *initiation crack*. Apabila diamati menggunakan SEM dengan perbesaran 100x dan 1000x seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan permukaan yang lebih halus.



**Gambar 4.13** Hasil SEM pembesaran 100x pada (A) daerah *initial crack* dan (B) batas *initial crack*.

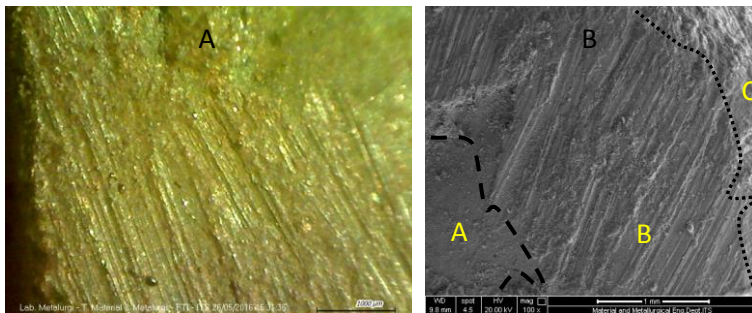


**Gambar 4.14** Hasil SEM pada daerah *initial crack* pada pembesarann (A) 500x dan (B) 1000x.

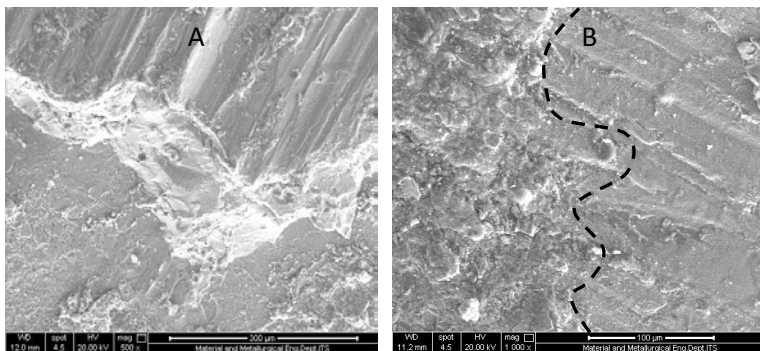
Pada gambar 4.13 Hasil pengujian SEM pada pembesaran 100x terlihat bahwa pada bagian *initial crack* pada patahan *wearing ring tyre* ini memiliki butiran yang lebih halus dan kecil. Pada gambar (B) terlihat perbedaan konsentrasi pada patahan dimana pada bagian kanan merupakan *initial crack* yang lebih halus sedangkan pada bagian kiri merupakan bagian *crack propagation* pada patahan *wearing ring tyre* . Pada daerah *crack propagation* terlihat jelas bahwa penyebaran rambatan merata dan butiran patahan membesar dan memanjang.



Pada gambar 4.14 Hasil pengujian SEM pada pembesaran 500x dan 1000x pada daerah *initial crack* pada patahan *wearing ring tyre*. Pada pembesaran ini sedikit terlihat jelas bahwa tampak morfologi daerah ini memiliki butiran yang kecil dan halus.



**Gambar 4.15** Hasil pengamatan morfologi pada bagian *crack propagation* dengan (A) Mikroskop stereo pembesaran 10x dan (B) SEM pembesaran 100x



**Gambar 4.16** Hasil SEM pada daerah *crack propagation* pada pembesaran (A) 500x dan (B) 1000x.

Pada gambar 4.15 hasil pengujian morfologi dengan mikroskop stereo pada bagian *crack propagation* terlihat jelas bahwa struktur makro yang terbentuk memanjang dan memiliki

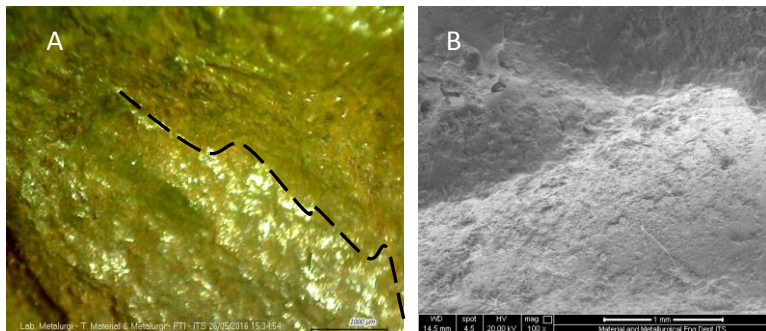




butiran yang kasar. Dan pada gambar (B) pada pengamatan dengan pengujian SEM dengan pembesaran 100x terlihat 3 bagian dimana bagian A merupakan *initial crack* yang terlihat memiliki butiran halus dan pada bagian B merupakan perambatan *crack* sedangkan pada bagian C terlihat morfologi yang lebih kasar dan besar merupakan bagian dari *final crack*.

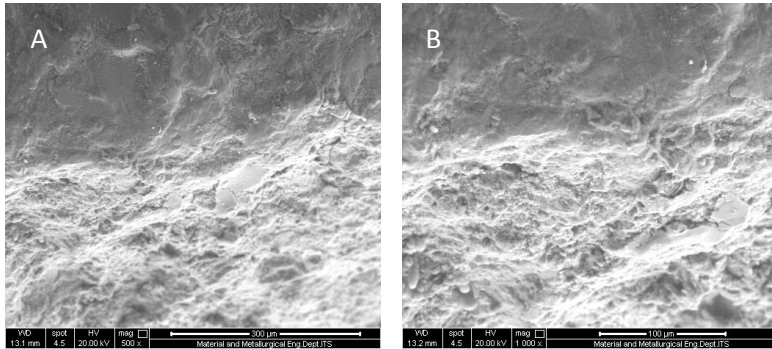
Pada gambar menunjukkan bahwa *crack propagation* terdapat garis-garis *beachmark* jelas yang merupakan karakteristik patahan akibat beban dinamis yang berulang (*cyclic*). Garis *beachmark* menunjukkan arah penjalaran dari *crack* hingga berakhir pada permukaan yang lebih besar dan sedikit kasar yaitu pada *final crack*.

Pada gambar 4.16 merupakan hasil pengamatan SEM dengan pembesaran 500x dan 1000x pada daerah patahan *wearing ring Tyre*. Terlihat jelas bahwa batasan perambatan *crack* dengan *initial crack* dan *final crack*.



**Gambar 4.17** Hasil pengamatan morfologi pada bagian *Final crack* dengan (A) Mikroskop stereo pembesaran 10x dan (B) SEM pembesaran 100x





**Gambar 4.18** Hasil SEM pada daerah *Final crack* pada pembesaran (A) 500x dan (B) 1000x.

Pada Gambar 4.17 hasil pengamatan morfologi pada bagian *final crack* pada gambar (A) terlihat perbedaan antara perambatan *crack* dengan daerah *final crack*. Terlihat bahwa daerah *final crack* sedikit lebih gelap dan butiran nya terlihat lebih besar dan halus. Pada gambar (B) terlihat daerah *final crack* dengan pembesaran 100x pada pengujian SEM.

Pada gambar 4.18 merupakan hasil pengamatan SEM dengan pembesaran 500x dan 1000x pada daerah patahan *wearing ring Tyre* . Pada daerah *final crack* pada gambar terlihat pada daerah yang lebih gelap dan memiliki butir yang lebih halus dibandingkan *crack propagation*.



## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, pada pengujian komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Komposisi pada komponen *wearing ring tyre* yang mengalami kegagalan sesuai dengan standart. Didapatkan hasil pengujian OES pada specimen uji yaitu kadar unsur Fe sebesar 97,7% , carbon sebesar 0,21% dan masih sesuai range pada standart ASTM A36. Pada unsur pendukung seperti Mn,Cu dan Ni kadarnya pada material patahan sedikit lebih besar dibandingkan standarnya tetapi masih dalam hal yang wajar. Dari hasil pengujian OES dipastikan bahwa material patahan *wearing ring tyre* dengan material ASTM A36 ini memiliki struktur mikro dengan fasa *ferrite-pearlite* dan termasuk dalam kategori baja karbon rendah. Menurut Calisster (2007) Baja karbon rendah memiliki sifat ulet, formable, dan machinable sehingga dengan sifatnya yang baik baja karbon rendah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi dalam industri.

Pada analisa tegangan dan modeling uphill *wearing ring tyre* dengan menggunakan solidwork didapatkan hasil pemusatan tegangan dengan maksimum tegangan yang bekerja sebesar 191,46 Mpa dan masih dibawah dari tegangan yang diizinkan sebesar 400 Mpa dengan torsi sebesar 47,4Nm.

Pada pengujian kekerasan dengan universal hardness tester dengan indenter bola baja dengan diameter 10mm (brinell) dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian dilakukan pada daerah dekat patahan dan jauh dari patahan yang dilakukan dengan masing masing 6 titik indentasi. Pada daerah jauh dari patahan didapatkan hasil pada 6 titik berbeda didapatkan nilai 121 BHN, 137 BHN, 135BHN, 140 BHN, 132 BHN, dan 133BHN dengan nilai rata-rata sebesar 133 BHN. Sedangkan pada dekat patahan memiliki nilai yaitu 132 BHN, 142 BHN, 139BBHN, 155 BHN, 137 BHN dan 134 BHN dengan nilai rata-rata sebesar 139,8 BHN. Selisih nilai kekerasan pada daerah dekat dan jauh dari patahan sebesar 6,8 BHN. Kenaikan nilai kekerasan ini dapat terjadi karena adanya pemusatan tegangan pada daerah



titik kritis dan menyebabkan tegangan sisa yang cukup tinggi pada daerah yang dekat dengan patahan. Sehingga dengan nilai kekerasan yang lebih besar, daerah pada dekat patahan memiliki batas butir yang lebih banyak atau daerah tegang yang lebih banyak serta derajat deformasi yang lebih besar. Korelasi pada struktur mikro dimana pada daerah dekat patahan memiliki struktur mikro yang lebih elongated.

Pada hasil pengujian metalografi pada daerah yang jauh dan dekat patahan *wearing ring tyre* dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x. Pada pembesaran 100x didapatkan hasil pada daerah dekat patahan bahwa fasa yang terbentuk adalah *ferrite-pearlite* dengan fasa *pearlite* yang memanjang (*elongated*). Pada pembesaran 200x dibandingkan hasil dari dekat patahan dan jauh dari patahan, dimana pada struktur mikro yang jauh dari patahan fasa lebih membulat (*equiaxed*) dan batas butir yang tidak terlalu banyak serta butiran yang lebih besar dibandingkan dari jauh patahan. Pada pembesaran 500x dan 1000x terlihat jelas perbedaan dari kedua daerah diantaranya pada dekat patahan, fasa *pearlite* lebih memanjang, grain boundary yang lebih banyak dan butiran yang lebih kecil. Dan pada daerah yang jauh dari patahan, fasa terbentuk lebih *equiaxed*, grain boundary yang lebih sedikit dan butiran lebih besar. Sehingga dari struktur mikro dapat disimpulkan bahwa pada daerah dekat patahan terjadi tegangan yang lebih besar, deformasi yang lebih besar dan lokasi tegang yang lebih banyak daripada yang jauh dari patahan.

Tegangan berulang ulang yang diberikan oleh *stopper* dan *Tyre ring* kepada *uphill wearing ring* yang merupakan daerah kritis (gambar 4.2) ini menyebabkan *uphill wearing ring* mengalami kelelahan sehingga dapat menimbulkan adanya daerah inisiasi *crack*. Menurut Zhang (2011), tegangan yang tinggi pada suatu material dapat menyebabkan material mengalami *crack*. Hal ini didukung dengan pengamatan secara visual maupun fraktografi, dimana pada patahan terdapat tiga daerah yaitu daerah inisiasi *crack*, daerah perambatan *crack*, dan daerah akhir *crack*.



Pada daerah inisial *crack*, merupakan retak awal yang ditandai dengan adanya permukaan yang lebih terang dan halus. Menurut Nishida Shin-ichi (1992). Awal retak biasanya dimulai dari permukaan yang terang dan halus. Daerah *initial crack* pada patahan *wearing ring tyre* terlihat lebih terang dan halus (gambar 4.7 dan 4.8) Perbedaan yang terlihat adalah butiran yang lebih kecil dan pada daerah perambatan *crack* terlihat adanya *beachmark* yang menjalar ke arah *final crack*. Pada daerah perambatan *crack* daerah lebih kasar dan butiran terlihat besar dan memanjang sedangkan pada bagian *final crack* terlihat lebih gelap dan butiran sedikit lebih besar dan kasar. Pada permukaan terlihat ada *beachmark* pada perambatan *crack* dan butiran yang paling besar terlihat dibandingkan kedua daerah lainnya dan disimpulkan bahwa patahan adalah jenis patahan lelah aus (*fatigue wear*).

Pada pengamatan SEM dengan pembesaran 500x dan 1000x pada daerah *initial crack* terlihat butiran lebih kecil dan halus serta pada daerah penjalaran retak menunjukkan morfologi butir-butir yang kasar dan retakan seperti merambat sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (transgranular). Penjalaran yang terlihat seperti *beachmark* ini merupakan ciri dari patah lelah. Pada daerah *final crack* terlihat butiran lebih besar dan gelap.

## LAMPIRAN

### 1. Perhitungan tegangan

Diketahui :

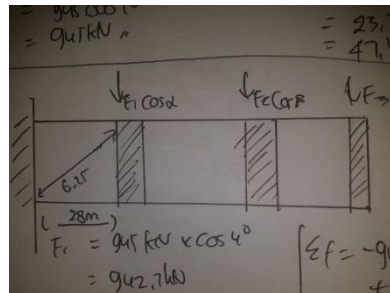
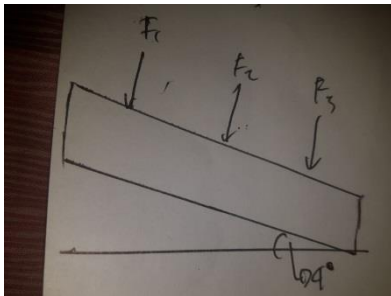
Daya(P)	= 2X600Kw
Kec putar (v)	= 2,64 rpm
Jumlah <i>tyre</i> (n)	= 3
Outer diameter (OD)	= 6250mm
Inner diameter (ID)	= 5950mm
Jarak antar <i>tyre</i>	= 28m = 28000mm
Jarak <i>tyre</i> terhadap <i>uphill</i>	= 30mm
Axial load	= 42Mpa
Spec <i>tyre</i> ring	= cast steel
Spec wearing ring	= ASTM A36

Ditanyakan:

❖ Normal stress  $= \sigma = F/A \dots\dots\dots(1.1)$   
 $= \sigma_{axial} = F_{axial} / \text{luas penampang}$   
 $= 42 \text{ Mpa} = F / \pi d^2 / 4$   
 $= 945.000 \text{ N}$   
 $= 945 \text{ KN}$

❖ Torsi  $= P = \frac{W \times T}{9550} \dots\dots\dots(1.2)$   
 $= T = \frac{P}{9550 \times w}$   
 $= T = \frac{2 \times 600 \text{ kw}}{9550 \times 2,64 \text{ rpm}}$   
 $= 47,4 \text{ Nm}$

$$\begin{aligned}
 \text{❖ Radial load} \quad &= \text{OHL} = \frac{9550 \times \text{kw} \times F}{N \times R} \dots\dots\dots(1.3) \\
 &= \frac{M \times F}{R} \\
 &= \frac{47,4 \times 3}{6,25} \\
 &= 22,8 \text{ KN}
 \end{aligned}$$



❖ Bending pada sheel kiln

$$\sigma \text{ bending} = \frac{M_{max}}{W_x} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 945 \text{ KN} \times \cos 4^\circ \\
 &= 942,7 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_2 &= 855 \text{ KN} \times \cos 4^\circ \\
 &= 852,9 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_3 &= 765 \text{ KN} \times \cos 4^\circ \\
 &= 763,1 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= F_1 + F_2 + F_3 \\
 &= 2558,7 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= D/2 = 6250/2 \\
 &= 3125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \text{ (Contact stress)} &= 374 \text{ mm} \\ B \text{ ( lebar rollers)} &= 880 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 0,086 Q \cdot R \dots\dots\dots(2.2) \\ &= 0,086 (2558,7) (3125) \\ &= 687,65 \text{ KNm} \end{aligned}$$

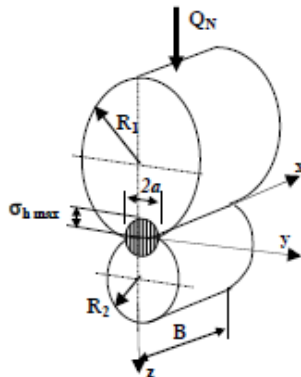
$$\begin{aligned} W_x &= B \cdot H^2 / 6 \dots\dots\dots(2.3) \\ &= \frac{0,88 \times 0,374^2}{6} \\ &= 0,0154 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\sigma \text{ bending} = \frac{M_{\max}}{W_x} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\frac{687,65}{0,0154} = 44,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma \text{ bending} = 44,65 \text{ Mpa}$$

❖ Shear stress ( $\tau$ )



$$\begin{aligned} Q_n &= 2558,7 \text{ KN} \\ R(\text{radius}) &= 617,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$E = 115.385 \text{ N/mm}^2$$

$$B = 1,54 \text{ m}$$

$$\tau = 0,304 \sigma hmax$$

$$\text{Dimana } \sigma hmax = \frac{2Qn}{\pi a^2 B}$$

$$\text{Dimana } a = \frac{\sqrt{4QnR}}{\pi BE} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$= a = \frac{\sqrt{2558,7.617,1}}{\sqrt{4.3,14.115385.1540}}$$

$$= a = \frac{\sqrt{6315895,08}}{\sqrt{557955,7}}$$

$$= \sqrt{11,36}$$

$$= 3,36 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga } \sigma hmax = 2. \frac{2558,7}{3,14.3,36.1540}$$

$$= 314,9 \text{ Mpa}$$

$$\text{Shear stress } = \sigma hmax \times 0,304 \dots \dots \dots (3.2)$$

$$= 314,9 \times 0,304$$

$$= 95,73 \text{ Mpa}$$

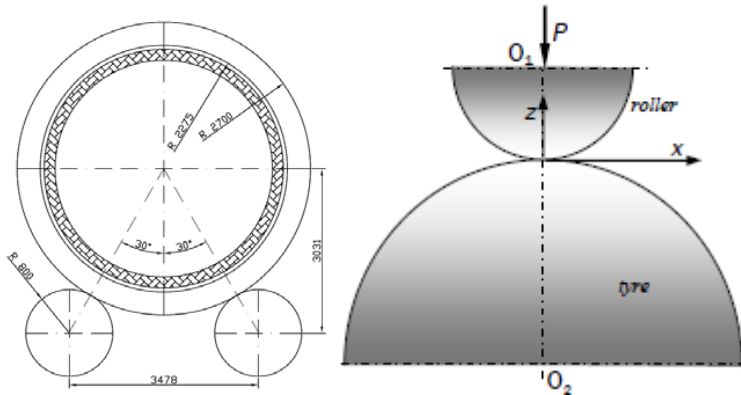
$$\text{Shear stress x safety factor}$$

$$95,73 \times 2$$

$$= 191,46 \text{ Mpa} \dots \dots \dots (3.3)$$



## Hertzian stress



Specific weight kiln 73,78 kN/m

Reaction on rollers 1 sebesar 2558 kN .....(4.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Dimana } a &= a = \frac{\sqrt{4QnR}}{\pi BE} \\
 &= a = \frac{\sqrt{2558,7.617,1}}{\sqrt{4.3,14.115385.1540}} \\
 &= a = \frac{\sqrt{6315895,08}}{\sqrt{557955,7}} \\
 &= \sqrt{11,36} \\
 &= 3,36 \text{ mm} \dots\dots\dots(4.2)
 \end{aligned}$$

Dimana  $R$  adalah equivalent radius  $R=(1/R_1+1/R_2)^{-1}=617.1 \text{ mm}$ ,  
 $E^*$  is equivalent modulus of elasticity  $E^*=((1-\mu_2)/E_1+(1-\mu_2)/E_2)^{-1}=115385 \text{ N/mm}^2$ .

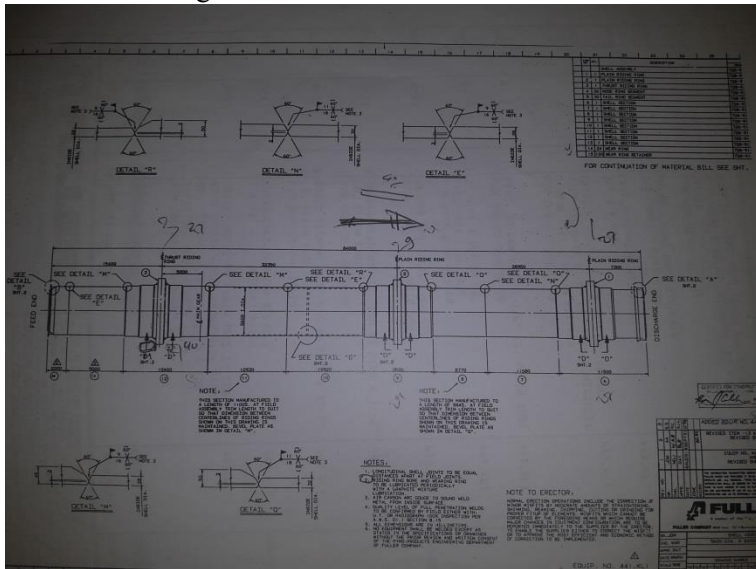
Indices 1 and 2 relate to tyre and roller, respectively.

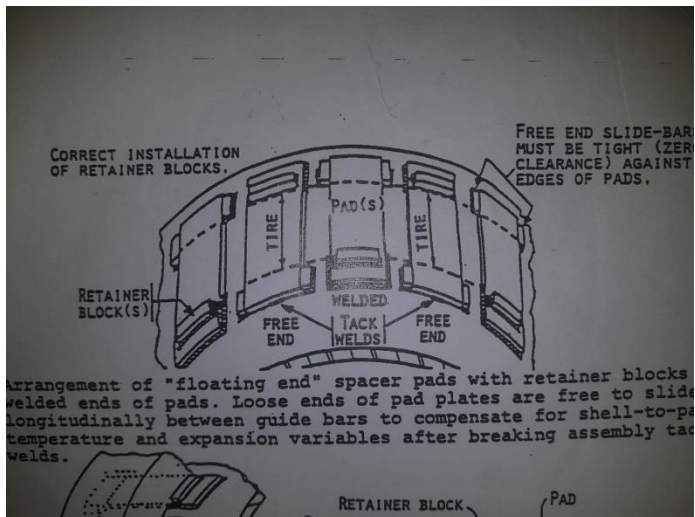
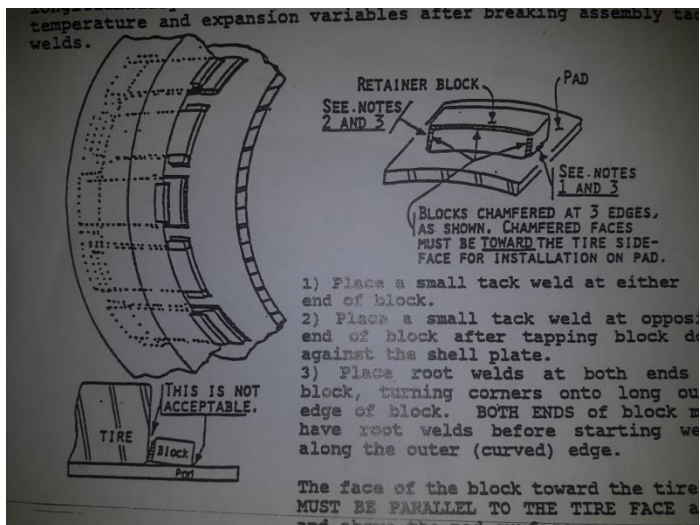
$$\blacksquare \quad p(x) = \frac{2P}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - x^2} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$p(x) = 2 \times 639.675 / 3.14 \times 3.36 \sqrt{3,36^2 - x^2} - 3,35$$

$p(x) = 1,29 \text{ MPa}$  dengan  $p_0$  sebesar 314,5 MPa dan  $p_{\text{FEM}}$  sebesar 287 MPa. Dan Allowable hertzian pressure at 400 Mpa.

## 2. Data Design







### 3. Hasil Pengujian OES

# OES Chemical Results

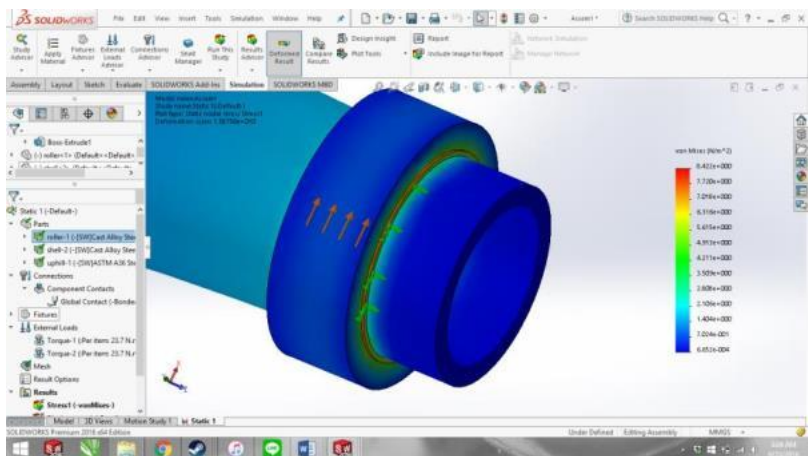
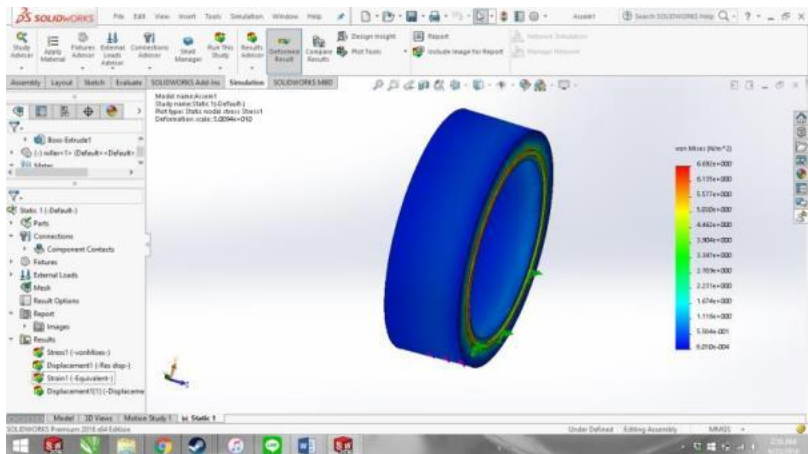
Sample ID : 1  
 Customer : Sdr. Panji Akbar P (T. Material)  
 Lab-no. : Uji Bahan  
 Operator : Elham  
 Date: 26/04/16

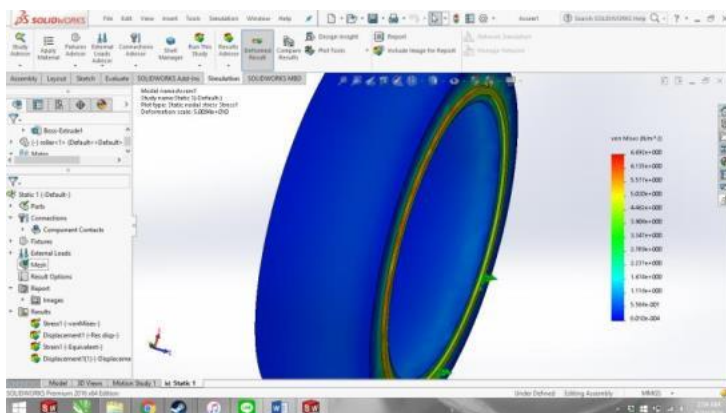
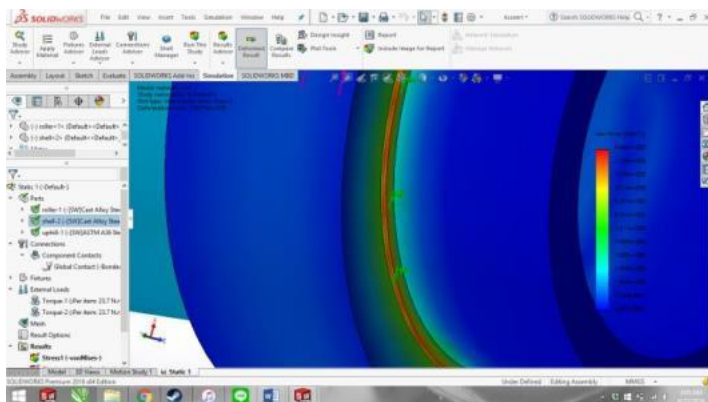
Material : ASTM A36  
 Dimension : -  
 Heat-no. : -  
 Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI

## Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.7	0.207	0.278	1.28	0.0149	0.0047	0.109	0.0061
2	97.7	0.220	0.277	1.29	0.0146	0.0054	0.111	0.0080
3	97.7	0.207	0.272	1.28	0.0133	0.0051	0.110	0.0093
Ave	97.7	0.211	0.276	1.28	0.0142	0.0051	0.110	0.0078
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0674	0.0343	< 0.0005	0.0398	0.0250	0.0063	0.0106	< 0.0010
2	0.0676	0.0358	< 0.0005	0.0392	0.0121	0.0071	0.0151	< 0.0010
3	0.0701	0.0332	< 0.0005	0.0432	0.0414	0.0098	0.0142	< 0.0010
Ave	0.0684	0.0345	< 0.0005	0.0407	0.0262	0.0077	0.0133	< 0.0010
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0071	0.0015	0.0018	0.0147	0.0005	0.0030	0.0015
2	< 0.0010	0.0060	0.0011	0.0018	0.0135	0.0015	0.0025	0.0058
3	< 0.0010	0.0051	0.0006	0.0017	0.0164	0.0037	0.0058	0.0043
Ave	< 0.0010	0.0061	0.0011	0.0018	0.0148	0.0019	0.0038	0.0039
	N	Se	Sb	Ta				
1	< 0.0030	< 0.0010	0.0968	0.0225				
2	< 0.0030	0.0021	0.0607	0.0092				
3	0.0059	0.0014	0.0936	0.0088				
Ave	< 0.0030	0.0011	0.0837	0.0135				

#### 4. Hasil solidwork

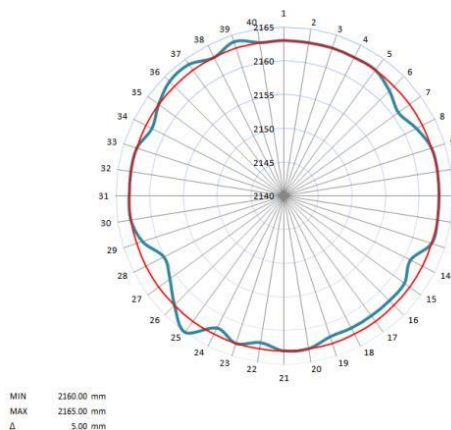




## 5. Data Kiln

KETERANGAN																				
TANGGAL	13 Jun	2014	ACTIVITY	unit	TYRE I				TYRE II				TYRE III				KET.			
JAM	9.00	WIB			1D	1A	1B	1C	2D	2A	2B	2C	3D	3A	3B	3C				
KILN FEED	550	tph	POS. & TEMP.	°	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS				
KILN SPEED	2.8	rpm	AXIAL LOAD	Mpa	0 50	0 45	0 47	0 48	0 46	0 43	0 46	0 47	0 40	0 39	0 42	0 44	TORSI 69 %			
HYD.THRUST PRES.	30	bar	ADJUSTMENT	mm																
CCR		bar	INDIKASI POSISI		NAIK		TURUN		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK					
			KETERANGAN																	
KETERANGAN																				
TANGGAL	15 Jun	2015	ACTIVITY	unit	TYRE I				TYRE II				TYRE III				KET.			
JAM	8.30	WIB			1D	1A	1B	1C	2D	2A	2B	2C	3D	3A	3B	3C				
KILN FEED	560	tph	POS. & TEMP.	°	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS				
KILN SPEED	2.76	rpm	AXIAL LOAD	Mpa	0 45	0 41	0 41	0 41	0 47	0 42	0 37	0 40	0 41	0 39	0 38	0 41	TORSI 71 %			
HYD.THRUST PRES.	15-29	bar	ADJUSTMENT	mm																
CCR		bar	INDIKASI POSISI		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK					
			KETERANGAN																	
KETERANGAN																				
TANGGAL	28 Sep	2015	ACTIVITY	unit	TYRE I				TYRE II				TYRE III				KET.			
JAM	8.30	WIB			1D	1A	1B	1C	2D	2A	2B	2C	3D	3A	3B	3C				
KILN FEED	560	tph	POS. & TEMP.	°	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS	POSS				
KILN SPEED	2.77	rpm	AXIAL LOAD	Mpa	0 55	0 50	0 50	0 51	0 49	0 49	0 49	0 49	0 46	0 46	0 46	0 46	TORSI 60%			
HYD.THRUST PRES.	13-25	bar	ADJUSTMENT	mm																
CCR		bar	INDIKASI POSISI		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK		NAIK					
			KETERANGAN																	

## 6. Ovality shell kiln







*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Faktor yang menyebabkan kegagalan pada komponen *uphill wearing ring tyre kiln* unit 2 tuban PT Semen Indonesia pada bulan desember 2015 yaitu *fretting fatigue* (*Fatigue wear*).
2. Mekanisme kegagalan *uphill wearing ring tyre* ini disebabkan karena pemasangan *stopper* yang menyebabkan komponen *wearing ring* tidak bisa bergerak sesuai fungsinya sehingga dikenakan beban dan gaya berlebih akibat dari bersentuhannya dengan komponen *tyre ring*.
3. Kegagalan pada *uphill wearing ring tyre* ini disebabkan juga oleh perbedaan *gap* yang tidak sama antara *uphill* dan *downhill* pada tyre 1 unit kiln 2 dimana pada *uphill gap* yang diberikan lebih sedikit dibandingkan komponen pada *downhill*.

#### **5.2 Saran**

1. Meminimalisir penggunaan *stopper* pada *wearing ring tyre* karena akan menyebabkan konsentrasi tegangan yang terpusat sehingga menimbulkan kemungkinan *failure* yang lebih cepat dan akan menyebabkan timbulnya inisiasi *crack*.
2. Melakukan monitoring secara langsung pada *wearing ring* agar dapat memantau kinerja pada komponen ini, sehingga ketika mengalami penurunan kinerja dapat segera dilakukan *maintenance*.
3. Melakukan pemeriksaan berkala pada komponen ini agar dapat memastikan komponen tidak dalam keadaan cacat saat melakukan kerja.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## Daftar Pustaka

- \_\_\_\_\_. 2002. **ASM Handbook Vol.9 Metallographic and Microstructure.** Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2002. **ASM Handbook Vol.11 Failure Analysis.** Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2002. **ASM Handbook Vol.12 Fractography.** Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2002. **ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture.** Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- Alma, Ziga, dkk. 2008. **The contact stresses between cement kiln tyre and supporting rollers.** Istanbul: Faculty of Mechanical Engineering ,Zenica.
- Alma, Ziga, dkk. 2009. **Theoretical and experimental research on Stresses of a kiln ring.** Tunisia: Faculty of Mechanical Engineering ,Zenica.
- Callister, William. 2007. **Material Science and Engineering An Introduction.** New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Colangelo, V.J. 1989. **Analysis of Metallurgical Failures Second Edition.** Singapore : John Wiley & Sons, Inc.
- Courtney, Thomas H. 1990. **Mechanical Behavior Of Materials.** Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Deshpande V, Dhekhane A.2014. **Contribution to Kiln Tyre Contact Stress Analysis.** IJIRSET
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik.** Jakarta : Erlangga.

Ibrahim Z, Ibrahim A.A ,Garba I.A .2014. **Modeling od Sokoto Cement Production Process Using A finite Automata Scheme: An Analysis of The Detailed Model.** International Journal of Computational Engineering Research (IJCER) Vol 04 : Page 68 and 71

Lea F.M. 1970. **The Chemistry of Cement and Concrete (3rd edition)**; Edward Arnold Publishers Ltd

lovas lou.2008.**How kiln stability can be maximized by aligning all interacting mechanical components.** USA: comprehensive kiln alignment

Moeller,Ole. 2007. **Mechanical kiln inspection and kiln alignment check.**Indonesia:FLSmidth

Nishida, Shin-ichi.1992. **Failure Analysis in Engineering Aplication.** Jordan Hill. Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd

Pisaroni M, Sadi R, Lahaye D.2012.**Counteracting ring formation in rotary kiln.** **Journal of Mathematics in Industry** : page 1 and 2

R. Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials.** New York : McGraw-Hill.

Winter, B Nicholas.2012. **Understanding Cement .** WHD Microanalysis Consultants Ltd.

You-gang, XIAO, dkk. 2006. **Contact pressure distribution and support angle optimization of kiln tyre.** China : Central South University.



Penulis yang bernama lengkap Panji Akbar Prasetya dilahirkan di Sumedang pada tanggal 23 Agustus 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, dan telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Jonggol 02 Bogor, SMPN 01 Jonggol Bogor dan SMAN 01 Cileungsi Bogor. Setelah lulus dari SMA, penulis mengikuti tes dan diterima sebagai calon Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS

dengan nomor registrasi pokok 2712 100 114 dan SKS lulus 144 SKS dengan masa perkuliahan 8 semester pada tahun 2012-2016.

Semasa kuliah, penulis terdaftar aktif sebagai staff departemen dalam negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) periode 2013-2014.

Penulis melaksanakan kerja praktek di Refinery Unit III PT. Pertamina Persero Palembang dengan judul analisa kegagalan dan material selection pada shell tube heat exchanger E-52. Dan penelitian Tugas Akhir di PT. Semen Indonesia unit tuban dengan topik tugas akhir analisa kegagalan pada upper hill wearing ring tyre ring pada rotary kin unit 2 plant tuban.

Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Email : [panjiakbar238@gmail.com](mailto:panjiakbar238@gmail.com)